



MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS

“ESTUDIO BÁSICO INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS PARA
CERTIFICACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA
SUSTENTABLE, 2° LLAMADO”

ETAPA 11 – INFORME AVANCE 2

REVISIÓN 0

CES23-DAP-GNE-GE-XX-IN-02-0

REV	FECHA	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
O	2025-05-19	MLC - FME	FAIC	Alexis Galaz
C	2025-04-28	MLC - FME	FAIC	Alexis Galaz
B	2025-03-06	MLC - FME	Camila Núñez	Alexis Galaz
A	2025-01-24	MLC - FME	Camila Núñez	Alexis Galaz

INSPECTOR(A) FISCAL	JEFE DEPTO. PROYECTOS DAP	JEFE PROYECTO FAIC

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	12
2	OBJETIVOS	12
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3	ALCANCE	12
4	RESUMEN EJECUTIVO	13
5	COMPROMISOS DE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)	15
6	ETAPAS DE ESTUDIO	16
6.1	BRECHAS DE APLICACIÓN CES V1.1 EN TERMINALES DE AEROPUERTOS Y REFUGIOS	17
6.2	SUBETAPA 7.1: PILOTO APLICACIÓN CASO PRÁCTICO AEROPORTUARIO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	19
6.2.1	OBJETIVOS DE SUBETAPA 7.1	21
6.2.2	CASO PRÁCTICO: AEROPUERTO ANDRÉS SABELLA	22
6.2.2.1	METODOLOGÍA	22
6.2.2.2	METODOLOGÍA DE CÁLCULO	24
6.2.2.3	RESULTADOS	24
6.2.2.4	ANÁLISIS COMPARATIVO	27
6.2.2.5	EXPANSIÓN DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA	29
6.2.2.6	RESULTADOS EXPANSIÓN DE LIMITES	29
6.2.2.7	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	31
6.2.3	ANÁLISIS DE BRECHAS	32
6.2.4	CALCULADORAS DE HUELLA DE CARBONO NACIONALES	33
6.3	SUBETAPA 7.2: ANÁLISIS DE HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN OPERACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN AEROPUERTOS	34
6.3.1	OBJETIVOS DE SUBETAPA 7.2	34
6.3.2	ANÁLISIS METODOLÓGICO	34
6.3.2.1	EN 15978	34
6.3.2.2	GHG PROTOCOL	35
6.3.3	ANÁLISIS AIRPORT CARBON ACREDITATION (ACA)	35
6.3.3.1	CONTEXTO ACTUAL	36
6.3.3.2	CASOS DE EJEMPLO	37
6.3.3.3	RESUMEN CASOS DE EJEMPLOS	38
6.3.4	NORMATIVAS Y ACREDITACIONES SIMILARES	39
6.3.4.1	CARBON OFFSETING AND REDUCTION SCHEME FOR INTERNATIONAL AVIATION (CORSA)	39
6.3.4.2	CO ₂ ESTIMATION AND REPORTING TOOL	39
6.3.4.3	AIRPORT CARBON EMISSIONS REPORTING TOOL	39
6.3.4.4	EUROPEAN UNION EMISSIONS TRADING SYSTEM	40
6.3.5	ANÁLISIS NORMATIVOS ADICIONALES	40

6.3.6	IMPLEMENTACIÓN AIRPORT CARBON ACCREDITATION	43
6.3.7	RECOMENDACIONES GENERALES	44
6.3.8	PROPUESTA DE INCORPORACIÓN DE CARBONO OPERACIONAL PARA CERTIFICACIÓN DE AEROPUERTOS MEDIANTE CERTIFICACIÓN DE EDIFICIO SUSTENTABLE (CES)	45
6.3.8.1	MODIFICACIÓN REQUISITO 8 – DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS	45
6.3.8.2	PROPUESTA DE REQUISITO: DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIALES DEL EDIFICIO	46
6.3.8.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: INTEGRACIÓN DE DAP Y MATERIALES DEL EDIFICIO	47
6.3.8.4	PROPUESTA DE REQUISITO: HUELLA DE CARBONO CONTENIDO DEL EDIFICIO	49
6.3.8.5	MODIFICACIÓN REQUISITO 19 – HUELLA DE CARBONO EN OPERACIÓN	50
6.3.8.6	PROPUESTA DE CRÉDITO: HUELLA DE CARBONO EN OPERACIÓN	50
6.4	SUBETAPA 8.1: DESARROLLO ESTUDIO ECONOMÍA CIRCULAR.....	52
6.4.1	OBJETIVOS SUBETAPA 8.1	52
6.4.2	REVISIÓN DOCUMENTACIÓN INTERNACIONAL.....	52
6.4.3	ESTUDIO DOCUMENTACIÓN INTERNACIONAL.....	53
6.4.3.1	CIRIA REPORT C753 THE SUDS MANUAL V3. MANUAL SUDS (UK) (2015).....	54
6.4.3.2	ROADMAP CIRCULAR LAND TENDERING, AMSTERDAM (2017).....	54
6.4.3.3	TESTING BAMB RESULTS THROUGH PROTOTYPING AND PILOT PROJECTS, BAMB (2018).....	54
6.4.3.4	ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN RUMBO AL 2030, CONAMA.....	54
6.4.3.5	ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE ECONOMÍA CIRCULAR (2020)	55
6.4.3.6	THE CIRCULAR BUILT ENVIRONMENT PLAYBOOK – WORLD GBC 2023	55
6.4.3.7	GUÍA PARA EL USO DE MATERIALES RECICLADOS EN CONSTRUCCIÓN – IHOBE INTRODUCCIÓN	55
6.4.4	ESTUDIO DOCUMENTACIÓN NACIONAL.....	55
6.4.4.1	HOJA DE RUTA PARA UN CHILE CIRCULAR AL 2040	55
6.4.4.2	HOJA DE RUTA RCD ECONOMÍA CIRCULAR EN CONSTRUCCIÓN 2035	56
6.4.4.3	ESTRATEGIAS DE MEDICIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN – CHILE GBC 2023	56
6.4.4.4	PRIMER DIAGNÓSTICO DE POLÍTICAS EN CHILE SECTOR CONSTRUCCIÓN – CHILE GBC 2022	56
6.4.4.5	HOJA DE RUTA 2022 – 2025 CONSTRUYE 2025	56
6.4.5	ESTUDIO CASOS INTERNACIONALES DE ECONOMÍA CIRCULAR EN AEROPUERTOS	56
6.4.6	ESTUDIO CERTIFICACIONES	58
6.4.6.1	LEED V4 BD+C.....	58
6.4.6.2	BREEAM	59
6.4.6.3	CES V1.1.....	59
6.4.6.4	EVALUACIÓN DE CERTIFICACIONES INTERNACIONALES	59
6.4.7	SOFTWARE Y HERRAMIENTAS PARA MEDIR CIRCULARIDAD.....	61
6.4.7.1	ONE CLICK LCA - SOFTWARE.....	61
6.4.7.2	RE10. CIRCULARIDAD. EXCEL DE CÁLCULO GRATUITO.	62

6.4.7.3	CIRCULAR BUILDING TOOLKIT. MARCO DE BUENAS PRÁCTICAS. GRATUITO	62
6.4.8	PROPUESTAS MEDIDAS DE CIRCULARIDAD A LA HERRAMIENTA CES AEROPUERTOS	63
6.4.8.1	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	63
6.4.8.2	PROPUESTA DE CRÉDITO: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	64
6.4.8.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: USO DE MATERIALES CON ATRIBUTOS CIRCULARES.....	66
6.4.8.4	PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO PARA LA ADAPTABILIDAD	69
6.4.8.5	PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO PARA LA MODULARIDAD	72
6.5	SUBETAPA 8.2: DESARROLLO ESTUDIO ECONOMÍA CIRCULAR.....	73
6.5.1	OBJETIVOS SUBETAPA 8.2	73
6.5.2	EVALUACIÓN CASOS PRÁCTICOS.....	73
6.5.2.1	RESULTADOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN DE CASOS PRÁCTICOS.....	73
6.5.2.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	74
6.6	SUBETAPA 9.1: DESARROLLO ESTUDIO DE ESTRATEGIAS INNOVADORAS EN EDIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA SUSTENTABLE.....	75
6.6.1	ENERGÍAS LIMPIAS (HIDRÓGENO VERDE Y ELECTROMOVILIDAD).....	76
6.6.2	NET ZERO.....	78
6.6.3	CAMBIO CLIMÁTICO – MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN	79
6.6.4	INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL	81
6.6.5	VARIABLE SOCIAL EN CERTIFICACIÓN SUSTENTABLE	83
6.7	SUBETAPA 9.2: DESARROLLO ESTUDIO DE ENERGÍAS LIMPIAS (HIDRÓGENO VERDE Y ELECTROMOVILIDAD) Y NETZERO, CON APLICACIÓN CASO PRÁCTICO AEROPORTUARIO	84
6.7.1	OBJETIVOS SUBETAPA 9.2	84
6.7.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	84
6.7.2	HIDRÓGENO VERDE	84
6.7.2.1	REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE HIDRÓGENO VERDE EN AEROPUERTOS Y AVIACIÓN	84
6.7.2.2	ANÁLISIS DEL DOCUMENTO: “EXCELLING IN HYDROGEN, DUTCH TECHNOLOGY FOR A CLIMATE NEUTRAL WORLD” ⁸⁵	
6.7.2.3	RESUMEN DE AEROPUERTOS Y DESARROLLOS VINCULADOS AL HIDRÓGENO	86
6.7.2.4	REQUISITOS DE ESPACIO PARA INSTALACIONES A HIDRÓGENO EN AEROPUERTOS.....	87
6.7.2.5	REQUISITOS DE ESPACIO PARA PLANTAS DE ELECTRÓLISIS (PRODUCCIÓN IN SITU)	87
6.7.2.6	REQUERIMIENTOS DE ESPACIO PARA HIDROLINERAS	89
6.7.2.7	NORMATIVA ASOCIADA AL USO DE HIDRÓGENO EN AEROPUERTOS.....	90
6.7.2.8	HIDRÓGENO VERDE EN EL TRANSPORTE TERRESTRE CHILENO	90
6.7.2.9	ESTUDIOS DE VIABILIDAD Y PROYECTOS PILOTO PARA LA ADOPCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE EN CHILE	91
6.7.2.10	BARRERAS REGULATORIAS DEL HIDRÓGENO VERDE EN CHILE.....	92
6.7.2.11	REGULACIONES AFECTADAS POR LA INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE EN CHILE	94
6.7.3	ELECTROMOVILIDAD.....	94
6.7.3.1	ELECTROMOVILIDAD EN CHILE.....	94

6.7.3.2	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PROYECTOS NACIONALES E INTERNACIONALES.....	97
6.7.4	NET ZERO.....	97
6.7.4.1	HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN.....	97
6.7.4.2	RESUMEN Y COMPARACIÓN DE CERTIFICACIONES.....	98
6.7.4.3	HERRAMIENTAS PARA CÁLCULO DE CICLO DE VIDA USADAS EN CHILE	100
6.7.4.4	MEDIDAS NET ZERO ADOPTADAS POR AEROPUERTOS REFERENTES.....	100
6.7.5	PROPUESTAS TÉCNICAS PARA HERRAMIENTA CES SUBETAPA 9.2 ELECTROMOVILIDAD E HIDRÓGENO VERDE 101	
6.7.5.1	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ESTACIONES DE CARGAS PARA VEHÍCULOS IMPULSADOS POR ELECTRICIDAD Y/O HIDRÓGENO.....	102
6.7.5.2	PROPUESTA DE CRÉDITO: PROMOCIÓN DE USO DE VEHÍCULOS SOSTENIBLES EN AEROPUERTOS.....	103
6.7.5.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: INFRAESTRUCTURA DE CARGA Y REABASTECIMIENTO Y ELECTROLINERAS EN TERMINALES Y REFUGIOS AEROPORTUARIOS.....	105
6.7.5.4	PROPUESTA DE CRÉDITO: ESPACIOS PARA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE APLICACIONES DE HIDRÓGENO VERDE (H2V) EN TERMINALES AEROPORTUARIOS.....	106
6.7.5.5	PROPUESTA DE CRÉDITO: ESPACIOS PARA ALMACENAMIENTO Y OPERACIÓN DE UNIDADES DE POTENCIA TERRESTRE DE HIDROGENO (H2-GPU) EN TERMINALES AEROPORTUARIAS	108
6.7.5.6	PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO ESCALABLE DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA ELÉCTRICA	109
6.7.5.7	PROPUESTA DE CRÉDITO: OPTIMIZACIÓN DE RUTAS Y ESPACIOS OPERATIVOS PARA TERMINALES AEROPORTUARIOS Y REFUGIOS DE PASAJEROS	110
6.7.5.8	PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO RESILIENTE DE SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA TERMINALES AEROPORTUARIOS Y REFUGIOS DE PASAJEROS.....	111
6.7.6	PROPUESTAS TÉCNICAS PARA HERRAMIENTA CES SUBETAPA 9.2 NET ZERO	113
6.7.6.1	PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO ENERGÉTICO NET ZERO	113
6.7.6.2	PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO NET ZERO RESIDUOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN 114	
6.7.6.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO NET ZERO AGUA SEGÚN DISEÑO	115
6.7.6.4	PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO NET ZERO CARBONO EN CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL TERMINAL	115
6.7.6.5	PROPUESTA DE CRÉDITO: MEDICIÓN DE ENERGÍA Y AGUA EN TERMINALES DE PASAJEROS	117
6.8	SUBETAPA 9.3: DESARROLLO ESTUDIO CAMBIO CLIMÁTICO, INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL, Y ESTUDIO VARIABLE SOCIAL EN CERTIFICACIÓN SUSTENTABLE Y APLICACIÓN DE CASOS PRÁCTICO AEROPORTUARIO	120
6.8.1	OBJETIVOS SUBETAPA 9.3	120
6.8.1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	120
6.8.2	CAMBIO CLIMÁTICO: MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN.....	121
6.8.2.1	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	121
6.8.2.2	CERTIFICACIONES QUE INCLUYEN ASPECTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	121
6.8.2.3	MARCO NORMATIVO.....	123
6.8.2.4	AEROPUERTOS REFERENTES CON MEDIDAS FRENTE CAMBIO CLIMÁTICO	123

6.8.2.5	REVISIÓN DE RIESGOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LOS PROYECTOS, SEGÚN EL ATLAS DE RIESGO DE CHILE (ARCLIM).....	125
6.8.2.6	RIESGO, AMENAZA, EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	126
6.8.3	INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL.....	131
6.8.3.1	PROYECTOS CON INCLUSIÓN DE INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL.....	132
6.8.3.2	ANÁLISIS NCH3626:2020, TECHOS VERDES: TERMINOLOGÍA, CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS.....	133
6.8.3.3	ANÁLISIS DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (2021).....	134
6.8.3.4	ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR GLOBAL DE LA UICN PARA SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA.....	135
6.8.4	VARIABLE SOCIAL EN CERTIFICACIÓN SUSTENTABLE.....	136
6.8.4.1	COMPOSICIÓN DE LA VARIABLE SOCIAL.....	137
6.8.4.2	VARIABLE SOCIAL EN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	138
6.8.4.3	COMPROMISOS PAÍS ASOCIADOS A VARIABLE SOCIAL EN URBANISMO E INFRAESTRUCTURA.....	139
6.8.4.4	AIRPORT DEVELOPMENT REFERENCE MANUAL (ADRM).....	139
6.8.4.5	AEROPUERTOS CON INCLUSIÓN DE VARIABLES SOCIALES.....	140
6.8.4.6	HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN QUE CONTEMPLAN VARIABLES SOCIALES.....	142
6.8.5	PROPUESTAS TÉCNICAS PARA HERRAMIENTA CES DE LA SUBETAPA 9.3 – CAMBIO CLIMÁTICO.....	144
6.8.5.1	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ANÁLISIS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS FUTUROS EN ZONA DE EMPLAZAMIENTO DE AEROPUERTOS.....	144
6.8.5.2	PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO DE INSTALACIONES RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	146
6.8.5.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO INFRAESTRUCTURA RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	147
6.8.6	PROPUESTAS TÉCNICAS PARA HERRAMIENTA CES DE LA SUBETAPA 9.3 – INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL 149	
6.8.6.1	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE CUBIERTAS Y MUROS VERDES.....	149
6.8.6.2	PROPUESTA DE CRÉDITO: GESTIÓN EFICIENTE DE AGUAS PLUVIALES.....	149
6.8.6.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES EN INFRAESTRUCTURAS AEROPORTUARIAS.....	150
6.8.6.4	PROPUESTA DE CRÉDITO: INCORPORACIÓN DE JARDINES VERTICALES EN ZONAS DE PROCESOS DE PASAJEROS.....	151
6.8.6.5	PROPUESTA DE CRÉDITO: INSTALACIÓN DE JARDINES DE LLUVIA.....	152
6.8.6.6	PROPUESTA DE CRÉDITO: PARQUES INTERIORES.....	153
6.8.6.7	PROPUESTA DE CRÉDITO: INSTALACIÓN DE ESTANQUES O PILETAS INTERIORES.....	154
6.8.6.8	PROPUESTA DE CRÉDITO: REDUCCIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR.....	154
6.8.7	PROPUESTAS TÉCNICAS PARA HERRAMIENTA CES DE LA SUBETAPA 9.3 – VARIABLE SOCIAL.....	155
6.8.7.1	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ESTUDIO SOCIAL DEL PROYECTO.....	155
6.8.7.2	PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PROMOVER LA EQUIDAD Y LA INCLUSIÓN SOCIAL.....	156
6.8.7.3	PROPUESTA DE CRÉDITO: PROMOVER EL BIENESTAR DE LAS COMUNIDADES ALEDAÑAS.....	157
6.8.7.4	PROPUESTA DE CRÉDITO: INCLUSIÓN DE ESPACIOS DE USO COMUNITARIOS EN EL DISEÑO DE TERMINALES AEROPORTUARIOS.....	158

6.8.7.5	PROPUESTA DE CRÉDITO: MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR.....	160
6.9	ETAPA 10: METODOLOGÍA COSTO SOCIAL DE NUEVAS MEDIDAS DE SUSTENTABILIDAD	161
6.9.1	RESULTADOS APLICACIÓN ETAPA 7: ESTUDIO HUELLA DE CARBONO.....	162
6.9.2	RESULTADOS ETAPA 8: ECONOMÍA CIRCULAR.....	162
6.9.3	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN COSTOS SOCIALES.....	162
6.9.4	RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	164
7	RESUMEN PROPUESTAS REQUERIMIENTOS Y CRÉDITOS CES AEROPUERTOS	166
8	INTEGRACIÓN PROPUESTAS CON ACA	183
9	CONCLUSIONES	187
10	ANEXO 1: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO EN CERTIFICACIÓN DE EDIFICIO SUSTENTABLE (CES)	190
10.1	ETAPA 1: DEFINICIÓN DE PROYECTO	190
10.2	ETAPA 2: CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO	190
11	ANEXO 2: PROPUESTA DE CREACIÓN APÉNDICE 24: CARBONO CONTENIDO	193
12	ANEXO 3: METODOLOGÍAS DE CÁLCULO PARA CAMBIO CLIMÁTICO	196
12.1	METODOLOGÍA SIMPLE PARA PRESENTAR QUE SEA INCORPORADA A CES	196
12.1.1	DATOS MEDIOS MENSUALES A DIARIOS	196
12.1.2	DATOS DIARIOS A HORARIOS	201
12.2	PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA DETERMINAR AUMENTO DE RIESGOS EN EL DISEÑO Y VARIABLES METEOROLÓGICAS	201
12.3	FACTORES CLIMÁTICOS AFECTADOS	202
12.3.1.1	PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA CERTIFICACIÓN EN LA DIMENSIÓN SOCIAL	205
13	ANEXO 4: PROPUESTA PARA DIAGNÓSTICOS DE CERTIFICACIÓN CON ENFOQUE EN LA DIMENSIÓN SOCIAL	207
13.1	IDENTIFICACIÓN DE ACTORES CLAVES	207
13.2	CONSULTA A ACTORES CLAVES.....	207
13.3	SELECCIÓN DE MUESTRA Y RECOLECCIÓN DE DATOS.....	208
13.4	SELECCIÓN DE MUESTRA	208
13.5	RECOLECCIÓN DE DATOS	208
13.6	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	208

ÍNDICE FIGURAS

Figura 6-1 Detalle de energía contenida en distintas fases del ciclo de vida de un aeropuerto	21
Figura 6-2 Imagen satelital de Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta	22
Figura 6-3 Esquema anteproyecto referencial ampliación Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta	22
Figura 6-4 Esquema de módulos considerados para análisis de ciclo de vida	24
Figura 6-5 Distribución de emisiones por categoría de infraestructura.....	26
Figura 6-6 Distribución de emisiones de CO ₂ equivalente según módulo de ciclo de vida.....	26
Figura 6-7 Distribución de emisiones de CO ₂ equivalente en partidas de obra gruesa	27
Figura 6-8 (a) Aeropuerto Andrés Sabella, (b) Aeródromo Peldehue, (c) Aeródromo María Dolores	28
Figura 6-9 Distribución de módulos de ciclo de vida en cálculo de huella de carbono.....	29
Figura 6-10 Distribución de emisiones por categoría de infraestructura.....	30
Figura 6-11 Distribución de emisiones de CO ₂ equivalente según módulo de ciclo de vida.....	31
Figura 6-12 Análisis de sensibilización bajo distintos escenarios de vida útil de infraestructura	32
Figura 6-13: Descripción niveles de acreditación ACA	36
Figura 6-14: PIB per cápita entre 1990 y 2022 ajustado por inflación y costo de vida	37
Figura 6-15: Ejemplo de reporte de emisiones herramienta ACERT	40
Figura 6-16: Potencial energético de Chile	76
Figura 6-17: Metas para la electromovilidad de Chile.....	78
Figura 6-18: Generación de electricidad por tipo de combustible a lo largo del tiempo en Chile (Giga watts hora).....	79
Figura 6-19: Vinculación de las NCD con otros instrumentos.....	81
Figura 6-20: Firma del acuerdo por la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde	82
Figura 6-21: Dimensiones de la planta PEM de producción de hidrógeno, Air Liquide, Becancour, Québec, Canadá. Superficie de planta aproximada: 4 ha. Capacidad de producción: 20 MW, 8,2 toneladas diarias de hidrógeno.	88
Figura 6-22: Ejemplo de hidrolinera, según la norma ISO 19880-1:2020	89
Figura 6-23: Primer bus a hidrógeno en Chile	91
Figura 6-24: Prototipo de locomotora a hidrógeno verde, fabricado para la compañía por la empresa CRRC QISHUYAN	91
Figura 6-25: Planta Haru Oni.....	92
Figura 6-26: Listado de reglamentos y normas que aplican al hidrógeno como sustancia peligrosa	93
Figura 6-27: Objetivos de la Estrategia Nacional de Electromovilidad.....	95
Figura 6-28: Ruta recorrido 555	96
Figura 6-29: Bus eléctrico BYD B12C01 de Red.....	96
Figura 6-30: Ubicación estaciones de carga en aeropuerto Carriel Sur	96
Figura 6-31: Ejemplo del grillado proporcionado por WORLDCLIM para precipitación anual y temperatura media anual. ..	121
Figura 6-32: Paneles solares en aeropuerto AMB	124
Figura 6-33: Skytrain.....	124
Figura 6-34: Relaciones teóricas entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres (Adaptación IPCC).....	127
Figura 6-35: Ubicación de red primaria y secundaria superpuestos al mapa de zonificación climática Nch1079 Of77	128
Figura 6-36: Detalle de riesgos de aumento de temperaturas y lluvias en Chile.....	131
Figura 6-37: Servicios ecosistémicos	134
Figura 6-38: Almacenamiento de carbono en ecosistemas de carbono azul y bosques.....	135
Figura 6-39: Práctica de ejercicios de emergencia de la División de Servicios de Emergencia.....	141
Figura 6-40: Esquema de Evaluación del Ciclo de Vida de Edificios	161
Figura 6-41: Esquema Metodología de Evaluación Social.....	163
Figura 10-1 Diagrama de propuesta de implementación de cálculo de huella de carbono en certificación CES.....	190
Figura 11-1: Esquema de módulos considerados para cálculo de carbono contenido	193
Figura 12-1: Valores diarios estimados a partir de la ecuación y para temperatura de una localidad de la Zona Central de Chile usando un ajuste sinusoidal (Azul) e interpolación spline (Rojo).	196
Figura 12-2: Aplicación de la rutina de generación de eventos de precipitación en una localidad de Chile central para un año cualquiera.	200
Figura 12-3: Esquema simplificado del uso de datos meteorológicos para generar un diseño basado en decisiones científicamente informadas.....	202

Figura 12-4: Pagina web de las simulaciones climáticas del CR2 de la Universidad de Chile 204

Figura 12-5: Ejemplo de una simulación climática para un punto cualquiera en el territorio nacional, donde se observan los cambios en la variable temperatura para el escenario RCP85 205

ÍNDICE TABLAS

Tabla 6-1: Brechas identificadas en aplicación CES v1.1 a proyectos aeroportuarios para las variables de energía, agua y acústica	17
Tabla 6-2 Desempeño energético de terminales de pasajeros de aeropuertos a nivel mundial.....	19
Tabla 6-3 Detalle de resultados de emisiones de Ampliación Aeropuerto Andrés Sabella.....	25
Tabla 6-4 Revisión bibliográfica de emisiones de CO ₂ equivalente de hormigones	27
Tabla 6-5 Comparación de cálculo de huella de carbono de infraestructura aeroportuaria local	27
Tabla 6-6 Detalle de resultados de emisiones de Ampliación Aeropuerto Andrés Sabella con carbono operacional	30
Tabla 6-7 Sensibilización de resultados bajo distintos escenarios de vida útil de infraestructura	31
Tabla 6-8 Fichas EPD de origen local utilizadas	33
Tabla 6-9: Resumen de casos de estudio	38
Tabla 6-10: Acciones relacionadas al carbono operacional de infraestructura aeroportuaria	41
Tabla 6-11: Indicadores de desempeño establecidos en la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040	42
Tabla 6-12: Encabezado requerimiento Declaración ambiental de productos y materiales de edificio	46
Tabla 6-13: Integración de DAP y materiales del edificio.....	47
Tabla 6-14: Niveles de cumplimiento para integración de DAP opción 1	48
Tabla 6-15: Niveles de cumplimiento para integración DAP opción 2	48
Tabla 6-16: Encabezado requerimiento Huella de carbono contenido del edificio	49
Tabla 6-17: Etapas y categorías de EN15978.....	49
Tabla 6-18: Encabezado requerimiento Huella de carbono en operación.....	50
Tabla 6-19: Niveles de cumplimiento para Huella de carbono en operación	51
Tabla 6-20: Comparativa de prácticas de economía circular en aeropuertos internacionales.....	57
Tabla 6-21: Resumen de casos internacionales consultados.....	58
Tabla 6-22: Aspectos economía circular y requerimientos asociados.....	60
Tabla 6-23: Plan de Gestión Residuos de Construcción y Demolición - Obligatorio.....	63
Tabla 6-24: Valorización de residuos en etapa de construcción - Voluntario.....	64
Tabla 6-25: Niveles de cumplimiento para Valorización de residuos en construcción	65
Tabla 6-26: Uso de materiales con atributos circulares - Voluntario	66
Tabla 6-27: Niveles de cumplimiento para uso de materiales con atributos circulares.....	67
Tabla 6-28: Diseño para la adaptabilidad - Voluntario	69
Tabla 6-29: Niveles de cumplimiento para diseño de la adaptabilidad.....	70
Tabla 6-30: Diseño para la modularidad - Voluntario.....	72
Tabla 6-31: Niveles de cumplimiento para diseño de modularidad	72
Tabla 6-32: Resultados de indicadores de economía circular - Aeropuerto El Tepual.....	74
Tabla 6-33: Resultados de indicadores de economía circular - Aeródromo Desierto de Atacama	74
Tabla 6-34: Aeropuertos analizados por cada subetapa	75
Tabla 6-35: Resumen de desarrollos de H2 en aeropuertos.....	86
Tabla 6-36: Resumen de requerimientos de energía, agua y tierra en proyecto ACES.....	88
Tabla 6-37: Distancias mínimas recomendadas en hidrolineras, con elementos externos	89
Tabla 6-38: Distancias mínimas recomendadas en hidrolineras, entre elementos internos	90
Tabla 6-39: Tabla resumen de requerimientos y alcances de las certificaciones Net Zero	99
Tabla 6-40: Tabla comparativa de certificaciones	99
Tabla 6-41: Comparación herramientas.....	100
Tabla 6-42: Comparación de medidas Net Zero en aeropuertos	101
Tabla 6-38: Niveles de cumplimiento medición de variables.....	119
Tabla 6-43: Tabla resumen de certificaciones	122
Tabla 6-44: Resumen normativas y ejemplos de aplicación	123
Tabla 6-45: Potenciales riesgos que enfrentarán los aeropuertos a futuro.....	129
Tabla 6-46: Definición y ejemplos de infraestructura verde y azul	132
Tabla 6-47: Cuadro resumen infraestructura verde y azul en aeropuertos.....	132
Tabla 6-48: Aspectos sociales que impactan directamente la construcción de infraestructura a personas y comunidades .	138

Tabla 6-49: Cuadro análisis de variables relevantes consideradas por la ADRM	140
Tabla 6-50: Comparación de cómo aborda la variable social las certificaciones LEED, BREEAM y ENVISION	143
Tabla 6-51: Cuadro sobre normativa chilena y política MOP respecto de los aspectos propuestos para ser evaluados	156
Tabla 7-1: Resumen propuestas de requisitos y créditos	166
Tabla 8-1: Contribución de Propuestas a los niveles y requisitos del esquema Airport Carbon Accreditation	184
Tabla 11-1: Índices de calentamiento global (GWP) según vehículo de carga	194
Tabla 12-1: Cuadro sobre normativa chilena y política MOP respecto de los aspectos propuestos para ser evaluados.	205

1 INTRODUCCIÓN

Este presente informe se presentan los resultados obtenidos en el proyecto destinado a proponer y desarrollar nuevos requerimientos para la Certificación de Edificios Sustentables (CES) enfocada en aeropuertos, abarcando tanto aeropuertos de gran escala como pequeños aeródromos. Para este informe se considerarán diferentes áreas clave: huella de carbono, economía circular e innovación, todas ellas esenciales para asegurar el desarrollo sostenible y eficiente. Además, el estudio considera 16 zonas climáticas del país, incluyendo territorios extremos como Rapa Nui y la Antártida.

2 OBJETIVOS

El objetivo general de esta etapa es consolidar mediante el Informe de Avance 2 los resultados obtenidos en las etapas de huella de carbono, economía circular e innovación, considerando una serie de créditos, requisitos y niveles que serán incorporados en la versión del CES para aeropuertos en Chile.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para las distintas etapas consideradas en este informe, se considera abordar temáticas para que sean incorporadas en el sistema de certificación CES, específicamente para la versión CES Aeropuertos.

En el ámbito de huella de carbono, el objetivo específico es determinar si es posible exigir aplicación de metodología completa de medición de huella de carbono de diseño y construcción en proyectos de infraestructura aeroportuaria junto a analizar y proponer herramientas y criterios de certificación de huella de carbono operacional.

Para economía circular, el objetivo de la etapa es investigar y evaluar la aplicación de los principios de economía circular en la edificación aeroportuaria e infraestructura horizontal mediante el análisis de documentación marco, proyectos referenciales internacionales, certificaciones sustentables y requisitos de calificación existentes, con el fin de desarrollar una propuesta de integración de estrategias y requerimientos específicos.

En relación con la etapa de innovación, el objetivo es desarrollar una investigación sobre referentes nacionales e internacionales en materia de cambio climático, electromovilidad, infraestructura verde y azul, carbono neutralidad y variables sociales en proyectos públicos y aeropuertos, con el propósito de analizar normativas, casos de estudio y estrategias exitosas. A partir de ese análisis, se propondrán requisitos, metodologías de medición y evaluación, así como criterios específicos para incorporar en el sistema de certificación.

3 ALCANCE

La etapa 11 del proyecto comprende la consolidación y presentación de un Informe Ejecutivo que integre los resultados obtenidos en las etapas previas relacionadas con Huella de Carbono, Economía Circular, Innovación y Costo Social de nuevas medidas. Esta etapa está destinada a proporcionar al Comité Técnico del CES de Aeropuertos los antecedentes técnicos necesarios para la evaluación y aprobación de los requisitos CES en las instalaciones aeroportuarias.

En este informe, se abarca una serie de análisis y evaluaciones específicas, tales como:

- Identificación de brechas existentes entre los requisitos CES de Edificios Públicos y los aplicables a Aeropuertos.
- Desarrollo de indicadores y rangos de mejora enfocados en huella de carbono, economía circular, innovación y costo social para el terminal de pasajeros y refugios de pasajeros, empleando fichas de requisitos CES.
- Diseño de estrategias sustentables aplicables al área del terminal de pasajeros o refugios, considerando las dimensiones y características de las instalaciones.
- Aplicar los requerimientos ajustados en los estudios de Huella de Carbono, Economía Circular e Innovación, a nivel de detalle de partidas de las distintas especialidades involucradas.

- Proponer metodología de evaluación de modo de incrementar las etapas del ciclo cuantificadas y evaluadas en reducción de emisiones, y propuesta de variables asociadas a sustentabilidad que se puedan traducir en costos sociales.

4 RESUMEN EJECUTIVO

Desde la dirección de aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas (MOP) junto a la administración de la Certificación Sustentable de Edificios (CES) del Instituto de la Construcción, se ha impulsado este proyecto, cuyo objetivo es desarrollar un marco de certificación adaptado a las necesidades de sostenibilidad específicas de los aeropuertos chilenos. La iniciativa nace de la necesidad de adaptar los estándares de sostenibilidad a las particularidades de los aeropuertos, que son infraestructuras que presentan una mayor cantidad de desafíos en términos de huella de carbono, economía circular, innovación (electromovilidad, hidrógeno verde, Net Zero, cambio climático, infraestructura verde y azul, y variable social) y costo social.

En el contexto actual, las certificaciones internacionales y nacionales como LEED, BREEAM, ENVISION, CES, entre otras han sido fundamentales en el impulso de la construcción sostenible en distintos sectores; sin embargo, su aplicación en aeropuertos se ha encontrado con condiciones para los cuales no se encuentran bien adaptadas. Estas certificaciones están diseñadas para evaluar de manera común edificios comerciales y de oficinas, y en casos especiales edificios de seguridad y salud, lo cual implica que no consideran las condiciones y demandas operativas que caracterizan a los aeropuertos.

Durante la **subetapa 7.1** el estudio se centró en evaluar la huella de carbono generada durante el Anteproyecto Referencial “Ampliación y Mejoramiento del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta”. Para ello, se aplicó un análisis de ciclo de vida basado en estándares internacionales que permitió cuantificar las emisiones de carbono asociadas a la producción de materiales, el proceso constructivo y la operación del aeropuerto. Se identificó que el hormigón es el material con mayor impacto ambiental y que el carbono operacional, derivado del consumo energético, representa un desafío clave en la reducción de emisiones a largo plazo. Con base en estos resultados, se planteó la necesidad de establecer requisitos normativos para la cuantificación y gestión del carbono en futuros proyectos aeroportuarios, así como fomentar la creación de fichas ambientales de productos locales y la eficiencia energética en los aeropuertos.

El resultado de la huella de carbono asociada al diseño y construcción alcanzó 26.145 toneladas de CO₂ equivalente, donde el terminal de pasajeros fue responsable del 46,3% de estas emisiones, seguido por las obras en la pista de aterrizaje (29,5%) y la infraestructura de la Dirección General de Aeronáutica Civil (14,2%). En el caso de la obra gruesa, el hormigón representó el 60,5% de las emisiones debido al proceso de fabricación del cemento.

Adicionalmente, se realizó un cálculo que incorporó el carbono operacional durante un año de operación. Esto incrementó la huella de carbono a 33.364 toneladas de CO₂ equivalente, destacando que el terminal de pasajeros concentró el 56,8% de estas emisiones debido a su alto consumo energético, principalmente en climatización e iluminación. En escenarios de vida útil prolongada (20 y 50 años), el impacto ambiental asociado al uso operativo supera significativamente al de la construcción.

En la misma etapa se identificaron brechas normativas y de información que dificultan una aplicación completa de estas metodologías en Chile. Aunque existen herramientas como “Huella Chile” y “RUKARU”, estas no abarcan todas las etapas del ciclo de vida ni cuentan con bases de datos locales completas, lo que indica una brecha en ese apartado. Por ejemplo, para el cálculo de huella de carbono de la infraestructura aeroportuaria analizada en esta etapa durante el año 2024, se utilizaron 62 EPDs, de los cuales 4 son de origen local (6,4%).

El estudio desarrollado en la **subetapa 7.2** aborda la propuesta de herramientas y criterios para certificar la huella de carbono operacional en aeropuertos concesionados y no concesionados de Chile. Su objetivo principal es integrar criterios de sostenibilidad ambiental en la Red Aeroportuaria Nacional mediante la actualización de la Certificación de Edificio Sustentable (CES). Los resultados obtenidos destacan por su relevancia en la mitigación del impacto ambiental y su alineación con los compromisos internacionales de carbono neutralidad.

El estudio propone la modificación de requisitos en la certificación CES, comenzando con la variable 8 de CES v1.1, originalmente enfocado en recopilar información ambiental de materiales, se transforma en dos sub-requisitos obligatorios.

El primero exige declarar características ambientales de materiales críticos como acero, hormigón y vidrio, utilizando fichas DAP o EPD. El segundo incorpora el cálculo de la huella de carbono contenida, abarcando las etapas de extracción, fabricación, transporte y construcción, promoviendo así estrategias de reducción de emisiones. Por otro lado, el Requisito 19 ahora obliga a calcular el carbono operacional del edificio mediante simulaciones energéticas dinámicas. Este requisito establece metas escalonadas de reducción de emisiones, desde un 1% hasta un 45% o más respecto a un caso de referencia, garantizando un diseño orientado a la sostenibilidad y facilitando la certificación internacional Airport Carbon Accreditation (ACA).

Además, se propone incorporar un nuevo apéndice en el manual CES para estandarizar el cálculo del carbono contenido en infraestructuras aeroportuarias, utilizando herramientas y bases de datos internacionales como la norma EN 15978. Esto asegura la compatibilidad con las mejores prácticas internacionales.

El estudio de la **subetapa 8.1** analiza cómo varios aeropuertos internacionales han implementado exitosamente medidas de economía circular, destacando prácticas que podrían ser replicadas en Chile. Aeropuertos como Schiphol en Ámsterdam y Gardermoen en Noruega han utilizado diseños modulares que facilitan la reutilización y adaptación de espacios, mientras que Arlanda en Suecia y Madrid en España han logrado optimizar el uso de materiales reciclados y locales, contribuyendo así a la reducción de la huella de carbono. Además, la gestión eficiente de residuos ha sido clave, con ejemplos como el programa "Zero waste" de Gardermoen y la valorización de residuos en El Dorado, Colombia, que promueven la reducción de desechos y la mejora de los procesos de reciclaje.

En cuanto a las certificaciones internacionales, el informe revisa criterios de certificaciones relevantes como LEED v4, BREEAM y CES. En materia de economía circular la certificación LEED v4 destaca la importancia de gestionar adecuadamente los residuos de construcción y demolición, así como la optimización del ciclo de vida de los edificios para reducir su impacto ambiental. BREEAM, por su parte, pone el foco en la gestión eficiente de los recursos y en la modularidad de las construcciones. Finalmente, CES propone medidas específicas adaptadas a la infraestructura aeroportuaria, como planes de gestión de residuos y reciclaje en las operaciones diarias, que son esenciales para reducir el impacto ambiental de los aeropuertos.

En términos de propuestas, el informe sugiere medidas para implementar en CES aeropuertos. Una de las principales recomendaciones es la implementación de planes de gestión de residuos de construcción y demolición, que aseguren la segregación y disposición adecuada de los desechos generados durante la construcción. Asimismo, se promueve la valorización de residuos, uso de materiales circulares. También se destaca la importancia de un diseño adaptable y flexible en los aeropuertos, lo que permitiría que los espacios puedan ser fácilmente modificados según las necesidades cambiantes sin comprometer la sostenibilidad a largo plazo. Todas estas propuestas fueron analizadas en casos de estudio en la subetapa 8.2.

En el estudio de la **subetapa 8.2** se aplica la metodología planteada mediante requerimientos y créditos en la subetapa 8.1 para medir la economía circular en proyectos de infraestructura aeroportuaria en Chile. Se evalúan cinco requerimientos: uno obligatorio y cuatro voluntarios. Los proyectos evaluados fueron el Aeropuerto El Tepual en Puerto Montt y el Aeródromo Desierto de Atacama en Copiapó, permitiendo identificar avances como la incorporación de criterios de adaptabilidad en ambos proyectos, pero también brechas relevantes en trazabilidad documental y estandarización normativa, particularmente en la valorización de residuos y el uso de materiales circulares.

El estudio realizado en la **subetapa 9.1** analiza de forma preliminar estrategias para la sostenibilidad en la infraestructura aeroportuaria de Chile, abordando áreas clave como la mitigación y adaptación al cambio climático, la infraestructura verde y azul, la integración social en certificaciones sustentables, el uso de energías limpias y la transición a Net Zero y que serán abordadas en profundidad en la subetapa 9.2 y 9.3. Se identificaron metodologías nacionales e internacionales aplicables a la realidad chilena, análisis de referentes nacionales como internaciones, con énfasis en la reducción de emisiones y el uso eficiente de recursos.

Uno de los hallazgos principales es el potencial del hidrógeno verde y la electromovilidad como alternativas viables para la descarbonización del transporte y la industria. También se destacó la importancia de la Certificación de Edificación Sustentable (CES) para fortalecer estándares ambientales en aeropuertos. Además, se analizaron estrategias de economía

circular, como la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 y el Plan de Descarbonización, que permitirán avanzar en la transición energética.

El estudio realizado en la **subetapa 9.2** abarcó el análisis de normativas, casos internacionales y propuestas de requerimientos, destacando avances y desafíos en hidrogeno verde, electromovilidad y Net Zero, tales como:

- En cuanto al hidrógeno verde, se analizaron cadenas de suministro, transporte y almacenamiento, destacando casos como los aeropuertos de Schiphol y Vancouver, que integran infraestructura avanzada para vuelos comerciales con hidrógeno. En Chile, el Aeropuerto Arturo Merino Benítez ya está evaluando proyectos con Airbus para operar con hidrógeno en 2030. Sin embargo, la implementación requiere superar retos como la falta de infraestructura, altos costos iniciales y la necesidad de normativas específicas.
- La electromovilidad está ganando terreno en los aeropuertos nacionales e internacionales. En Chile, la Estrategia Nacional de Electromovilidad y proyectos piloto como el del Aeropuerto Carriel Sur, que cuenta con puntos de carga eléctrica para vehículos, demuestran un compromiso con la reducción de emisiones y la modernización tecnológica. A nivel global, aeropuertos como los de Ámsterdam y Los Ángeles destacan por su infraestructura avanzada de carga y el uso de vehículos eléctricos en tierra, evidenciando el impacto positivo de estas iniciativas en la experiencia del usuario, costos operativos y sostenibilidad ambiental. En Chile, se requiere una expansión de infraestructura y políticas para garantizar una adopción masiva de esta tecnología.
- En relación con los aspectos de NetZero, el estudio subraya la urgencia de alcanzar la neutralidad de carbono para 2050, una meta clave para combatir el cambio climático. Se analizaron certificaciones internacionales como LEED Zero y Airport Carbon Accreditation (ACA), que promueven eficiencia energética, energías renovables y reducción de emisiones en edificios y aeropuertos. Chile podría aprovechar estas herramientas para transformar su infraestructura aeroportuaria, siguiendo ejemplos como el de París Charles de Gaulle, que ha implementado estaciones de recarga de hidrógeno y programas de optimización de carbono.

Como propuesta, el estudio sugiere desarrollar requerimientos y créditos para reconocer a la infraestructura de hidrógeno y electrificación en aeropuertos nacionales. Además, se realizan propuestas que reconozcan los esfuerzos realizados por los proyectos para alcanzar el Net Zero de energía, agua, residuos y carbono.

En la **subetapa 9.3** del estudio sobre cambio climático, infraestructura verde y azul, y variables sociales aplicadas a la certificación sustentable en aeropuertos, se llevó a cabo un levantamiento de información para establecer las bases de requerimientos para la versión CES aeropuertos. Este proceso incluyó un análisis normativo nacional, el estudio de casos internacionales y la evaluación de certificaciones como LEED, BREEAM y Envision, integrando criterios ambientales, sociales y operativos para optimizar el desempeño de estas infraestructuras estratégicas.

El componente social fue un eje clave del análisis, centrado en el impacto de los aeropuertos en las comunidades locales, los usuarios y los trabajadores. Se identificaron prácticas que mejoran el bienestar social, como la creación de espacios verdes comunitarios, accesibilidad universal, la promoción de transporte público y la inclusión de programas para comunidades aledañas. Estas prácticas son reconocidas como propuesta de créditos.

De cada una de las subetapas se obtiene como producto propuestas de requerimientos obligatorios y voluntarios para el desarrollo de la certificación CES en su nueva versión de aeropuertos, estos requerimientos son presentados en el presente informe.

5 COMPROMISOS DE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (MOP)

El Ministerio de Obras Públicas (MOP), consciente de la crisis climática, el aumento de la contaminación y la pérdida de biodiversidad ha establecido su Política de Sostenibilidad 2024-2030, la cual amplía las iniciativas implementadas desde 2001 con un enfoque integral en cuatro dimensiones: ambiental, social, económica e institucional. Su compromiso es integrar la sostenibilidad en todas las fases del desarrollo de la infraestructura pública, desde la planificación y el diseño hasta la operación y el desmantelamiento; garantizando así un desarrollo resiliente y sostenible que responda a los desafíos climáticos y sociales de un país altamente vulnerable.

En el ámbito ambiental, la política establece lineamientos para enfrentar los efectos del cambio climático mediante el diseño de infraestructuras resilientes capaces de adaptarse a eventos extremos como sequías, inundaciones y olas de calor. También se promueve el uso de tecnologías y materiales con menor huella de carbono e hídrica, junto con la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza para favorecer la conservación de ecosistemas. En el ámbito social, se enfatiza la equidad y la inclusión, asegurando que las obras públicas sean accesibles y beneficien a todas las comunidades, considerando la diversidad de género, edad y pertenencia cultural. Desde una perspectiva económica, se busca equilibrar el desarrollo productivo con la protección ambiental, fomentando proyectos sostenibles que incluyan mecanismos innovadores de financiamiento, como los bonos verdes. A nivel institucional, se prioriza la capacitación, la digitalización de procesos y la gestión eficiente de recursos para garantizar el cumplimiento de los compromisos establecidos.

Esta política se materializa en el Plan de Adaptación y Mitigación de la Infraestructura al Cambio Climático 2025, que fue aprobado por el consejo de ministros en diciembre de 2024, cuyo objetivo es promover el desarrollo de infraestructura resiliente y sostenible para contribuir a la carbono-neutralidad al 2050. Este plan reconoce la infraestructura como un elemento clave para mitigar y adaptarse al cambio climático, integrando enfoques innovadores como soluciones basadas en la naturaleza y economía circular. Entre sus metas estratégicas, se destacan la incorporación de resiliencia en la conectividad territorial, la protección de infraestructuras ante eventos climáticos extremos y el diseño de edificaciones públicas sostenibles que reduzcan emisiones y garanticen la continuidad de los servicios esenciales.

En el ámbito aeroportuario, el MOP ha consolidado su compromiso con la sostenibilidad a través de un plan alineado con acuerdos internacionales como el Acuerdo de París y el Pacto Climático de Glasgow. Este plan se centra en tres ejes estratégicos: la mitigación del cambio climático, la adaptación al cambio climático y la gestión del conocimiento. Para avanzar en la mitigación, se prioriza la incorporación de Energías Renovables No Convencionales en los proyectos aeroportuarios, permitiendo reducir significativamente el consumo energético y alineando los aeropuertos con los estándares de sostenibilidad del sistema de Certificación de Edificios Sustentables en Chile. Además, el MOP se ha comprometido a medir y gestionar la huella de carbono de la infraestructura aeroportuaria mediante la elaboración de una guía específica con enfoque de ciclo de vida y el desarrollo de un sistema de reporte para la recolección y sistematización de datos. Estas iniciativas buscan cuantificar el impacto ambiental de las construcciones y explorar opciones de compensación de emisiones a través de proyectos de reducción de gases de efecto invernadero.

En cuanto a la gestión del conocimiento, el MOP ha identificado la necesidad de actualizar las normas y estándares de construcción en el sector aeroportuario para incorporar criterios de sostenibilidad. Para ello, se fomenta la certificación de sustentabilidad en la infraestructura aeroportuaria a través de la construcción de proyectos que cuenten con certificación en diseño y construcción, la elaboración de estudios para la aplicación de certificación de sustentabilidad en la infraestructura aeroportuaria y su posterior implementación en proyectos, así como el análisis de su aplicación en obras concesionadas.

Frente a los riesgos que plantea el cambio climático, el MOP ha implementado un enfoque de resiliencia en sus infraestructuras aeroportuarias, asegurando la continuidad de las operaciones en condiciones climáticas adversas mediante la creación de un sistema de monitoreo de riesgos que permite identificar y mitigar vulnerabilidades ante fenómenos naturales extremos. Este enfoque adaptativo protege las inversiones en infraestructura aeroportuaria y responde a la diversidad climática de Chile, incluyendo regiones extremas como Rapa Nui y la Antártida.

6 ETAPAS DE ESTUDIO

Las etapas de estudio del proyecto se estructuran como un proceso íntegro y detallado, orientado a evaluar y proponer soluciones sustentables en diferentes áreas clave de la infraestructura aeroportuaria. Esto se extiende a áreas técnicas cruciales como huella de carbono, economía circular, innovación y costo social.

Se busca identificar oportunidades de mejora en estas áreas, considerando las particularidades climáticas y operacionales de los distintos aeropuertos en el país. La finalidad de este enfoque integral es establecer una base sólida para la creación de una infraestructura aeroportuaria más sostenible y que sirva para la implementación de la Certificación de Edificio Sustentables (CES) para aeropuertos.

Como primer paso de este análisis, se realiza un estudio de las brechas encontradas en el desarrollo de las etapas evaluadas, en relación con la aplicación de la certificación CES en su versión 1.1 a la infraestructura aeroportuaria. Esto permite identificar los principales desafíos y oportunidades en su implementación, sirviendo como base para las propuestas de mejora.

6.1 BRECHAS DE APLICACIÓN CES v1.1 EN TERMINALES DE AEROPUERTOS Y REFUGIOS.

En la Tabla 6-1 se pueden observar los distintos requerimientos y créditos de la CES v1.1 asociados a las variables de huella de carbono, economía circular e innovación que presentan dificultades en su aplicación y cumplimiento para edificios tipo terminal y refugios de pasajeros aeroportuarios.

Tabla 6-1: Brechas identificadas en aplicación CES v1.1 a proyectos aeroportuarios para las variables de energía, agua y acústica

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
ARQ. M&R 8 Declaración Ambiental de Productos (DAP) para materiales del edificio	Incentivar la entrega de Declaración Ambiental de Productos (DAP) de diferentes materiales y productos	Los edificios de Terminal de Pasajeros en los aeropuertos, tanto de pequeña como de gran escala, no presentan desafíos específicos al tener que usar estos tipos de materiales en su estructura. La brecha identificada ocurre en el alcance, en donde el requerimiento sólo exige material con DAP, pero no en que porcentaje deben ser ocupados. <u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que parte de estudio es proponer nuevos requerimientos para que la CES aeropuertos pueda ser más exigente en ese ámbito.</u>
ARQ. M&R 9 Declaración Ambiental de Productos (DAP) para materiales del edificio	Incorporar las condiciones necesarias para facilitar que se realice una gestión y separación adecuada de los residuos durante la operación del edificio.	No se detectan brechas en este requerimiento.
CONSTR. M&R 10R1 Gestión de residuos: Plan de gestión durante la construcción	Asegurar las medidas mínimas de control y mitigación durante la demolición y construcción	No se detectan brechas en este requerimiento.
CONSTR. M&R 10R2 Gestión de residuos: Cuantificación de residuos generados	Informar la cantidad de residuos generados en la etapa de construcción	No se detectan brechas en este requerimiento.

Requerimiento	Descripción	Brechas identificadas
CONSTR. M&R 10 Gestión de Residuos: Separación, control y reciclaje	Asegurar la trazabilidad a través de la correcta disposición final de los residuos generados durante la construcción del edificio	Los edificios de Terminal de Pasajeros en los aeropuertos, tanto de pequeña como de gran escala, poseen una mayor cantidad de residuos que edificios comunes de la certificación CES: La brecha identificada ocurre en el alcance, ya que el requerimiento solo lo exige para lugares donde existan empresas capacitadas para realizar reciclajes. Sin embargo, es importante considerar que los aeropuertos y aeródromos, en la mayoría de los casos, se encuentran alejados de las ciudades o zonas urbanas, donde suele existir mayor infraestructura para la gestión de residuos. En estos lugares más remotos, no solo es difícil acceder a empresas especializadas en reciclaje, sino que además suelen carecer del equipamiento necesario para realizar una gestión adecuada de la basura mediante su separación, reciclaje y/o reutilización. <u>Esta brecha es considerada de nivel alto ya que hay residuos generados por aeropuertos que son de difícil tratamiento, no obstante, se proponen créditos asociados a economía circular, huella de carbono y Net Zero para que tengan un tratamiento.</u>
INST.CAI 14R Confort Térmico Activo: Definir condiciones de diseño de climatización	Los sistemas de climatización deberán diseñarse y calcularse de tal forma que cumplan con las condiciones de diseño fijadas objetivamente.	No se detectan brechas en este requerimiento.
INST.CAI 14 Confort térmico activo: Controlabilidad	Incorporar en el proyecto de climatización sistemas de control locales que permitan a ocupantes individuales o grupos mejorar su confort térmico.	No se detectan brechas en este requerimiento.
INST. Energía 19 Huella de carbono en operación	Declarar e incentivar el uso de la medición de huella de carbono durante la operación de edificios. La reducción de las emisiones durante la etapa de operación contribuye a la incorporación del edificio a la emisión de bonos verdes soberanos.	La brecha identificada ocurre en el alcance, en donde el requerimiento sólo es en operación y no durante el proceso de las otras etapas del ciclo debida. <u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que parte de estudio es proponer nuevos requerimientos para que la CES aeropuertos pueda ser más exigente en ese ámbito.</u>
INN.24 Innovación	Promover nuevas estrategias sustentables innovadoras no contempladas en las categorías CES, las que podrían servir como base para futuros requerimientos estandarizados. Además, premiar altos niveles de rendimiento, por sobre los máximos establecidos, en los criterios más importantes como Consumo energético, Emisiones de carbono, Agua y Residuos	Este requerimiento es abierto, e incluye todas las estrategias que no están consideradas en CES, por lo que la brecha detectada es más una oportunidad para incorporar aquellos requerimientos o créditos que no han sido identificados. <u>Esta brecha es considerada de nivel bajo ya que parte de estudio es proponer nuevos requerimientos para que la CES aeropuertos pueda ser más exigente en ese ámbito.</u>

Fuente: Elaboración propia.

La poca cantidad de brechas identificadas podría sugerir que para estos ámbitos CES en su v1.1 sería suficiente, pero no es así. Las mayores brechas existentes entre las etapas resumidas en este informe son por la falta de ellas en CES en su versión 1.1 no contempla varias sociales y las variables asociadas a huella de carbono y economía circular son una primera aproximación, es aquí donde a los aeropuertos se les puede exigir más siendo infraestructuras modernas y de que alguna manera guía a otras infraestructuras públicas.

Lo mismo ocurre en temas de innovación en donde CES v1.1. reconoce estas acciones, sin embargo lo deja abierto. Por lo anterior, en la etapa 9 de este estudio se realizan propuestas sobre uso de hidrogeno verde, electromovilidad, Net Zero, cambio climático, infraestructura verde y azul, y la componente social que no existen en la versión actual de la certificación y que tienen como objetivo motivar y reconocer los avances de la infraestructura en esos ámbitos.

6.2 SUBETAPA 7.1: PILOTO APLICACIÓN CASO PRÁCTICO AEROPORTUARIO PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

El sector de la aviación civil es responsable de aproximadamente el 2,5% de las emisiones globales de GEI, según la Agencia Internacional de Energía. Sin embargo, este cálculo excluye las emisiones derivadas de la construcción y operación de aeropuertos, que representan un 15% adicional del total del sector (Greer Et Al., 2020). A su vez, la Organización de Aviación Civil Internacional señala que el número de pasajeros crece un 5% anual, lo que ha impulsado un aumento del 3-4% en las emisiones de CO₂ debido al rápido desarrollo del sector en los últimos 20 años y su recuperación tras la pandemia de Covid-19, alcanzando en agosto de 2023 un 95,7% del tráfico prepandémico, según la IATA.

La “huella de carbono” es una herramienta clave para medir el impacto ambiental de actividades y procesos en términos de CO₂ equivalente, según lo define el Ministerio del Medio Ambiente. Chile ha asumido compromisos como la Ley Marco de Cambio Climático de 2022, que establece una meta de carbono neutralidad para 2050. Esta ley propone medidas en sectores clave, incluido el aeroportuario, priorizando políticas de sostenibilidad, construcción sustentable, eficiencia energética y manejo responsable de recursos naturales y residuos.

En los aeropuertos, los terminales de pasajeros concentran el 76,62% del consumo energético, destinado mayoritariamente a sistemas de climatización (68%) e iluminación (17%). Este alto consumo se explica por la necesidad de mantener condiciones térmicas confortables en grandes espacios con un flujo constante de personas. La eficiencia energética de los aeropuertos se mide a través de indicadores como el consumo de energía por pasajero o por metro cuadrado (kWh/pasajero y kWh/m²). Estudios han revelado que no existe una correlación directa entre el tamaño del aeropuerto y su eficiencia energética, ya que este factor depende de aspectos como diseño, clima, tecnologías empleadas y prácticas sostenibles, como el uso de energías renovables o la modernización de sistemas.

Tabla 6-2 Desempeño energético de terminales de pasajeros de aeropuertos a nivel mundial.

Aeropuerto	Código	País	Zona Climática (Clasificación Köppen-Geiger)	Superficie Terminal [m ²]	EPI 2009 [kWh/pax año]	Pasajeros 2009	Consumo Energético [kWh/año]	Consumo Energético Terminal [kWh/m ² año]
Heathrow	LHR	Inglaterra	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	686.000	13,57	65.907.906	894.370.284	1.303,7
Charles de Gaulle	CDG	Francia	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	350.000	17,93	57.906.866	1.038.270.107	2.966,5
Francfort del Meno	FRA	Alemania	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	240.000	15,69	50.932.840	799.136.260	3.329,7
Barajas	MAD	España	Csa (Clima mediterráneo, verano caluroso)	940.000	7,19	48.437.147	348.263.087	370,5
Schipol	AMS	Países Bajos	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	336.000	7,61	43.570.370	331.570.516	986,8
Leonardo Da Vinci	FCO	Italia	Csa (Clima mediterráneo, verano caluroso)	170.000	7,24	33.723.213	244.156.062	1.436,2
Franz Josef Strauss	MUC	Alemania	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	280.000	11,53	32.681.067	376.812.703	1.345,8
Istanbul	IST	Turquía	Csa (Clima mediterráneo, verano caluroso)	350.000	8,0	29.854.119	238.832.952	682,4

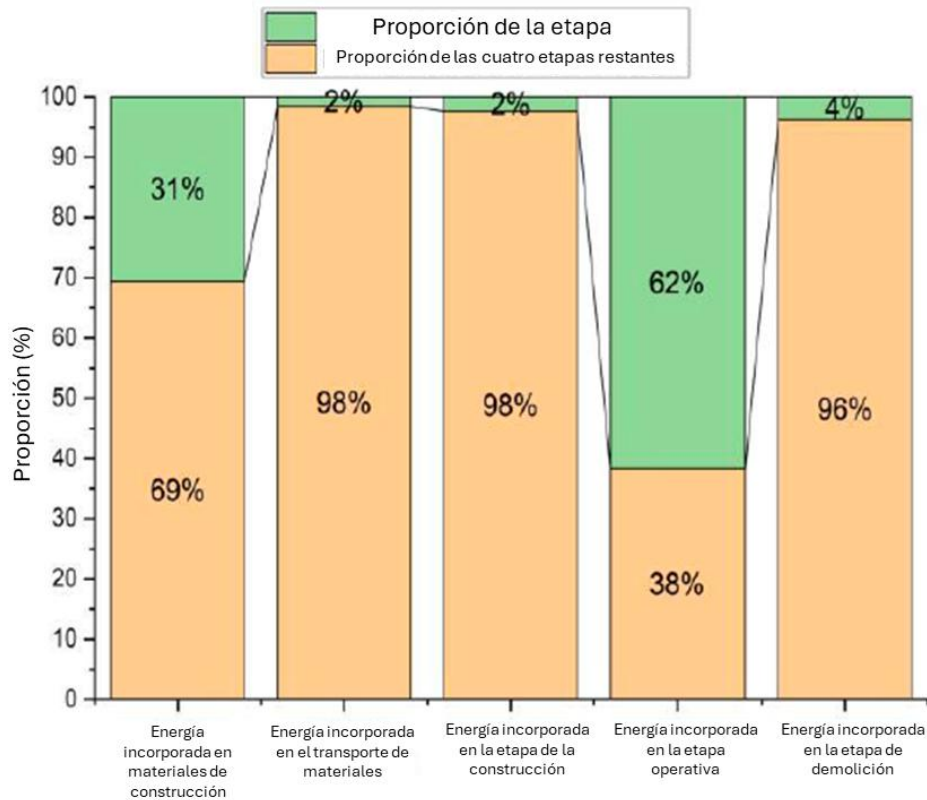
Aeropuerto	Código	País	Zona Climática (Clasificación Köppen- Geiger)	Superficie Terminal [m2]	EPI 2009 [kWh/pax año]	Pasajeros 2009	Consumo Energético [kWh/año]	Consumo Energético Terminal [kWh/m ² año]
El Prat	BCN	España	Csa (Clima mediterráneo, verano caluroso)	548.000	6,3	27.421.682	172.756.597	315,2
Kansai	KIX	Japón	Cfa (Clima subtropical húmedo)	296.000	4,20	24.060.000	101.052.000	341,4
Kloten	ZRH	Suiza	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	100.000	13,96	21.926.872	306.099.133	3.061,0
Palma de Mallorca	PMI	España	Csa (Clima mediterráneo, verano caluroso)	83.000	3,87	21.203.041	82.055.769	988,6
Manchester	MAN	Inglaterra	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	95.000	12,48	18.724.889	233.686.615	2.459,9
Gardermoen	OSL	Noruega	Dfb (Clima continental húmedo, verano templado, sin estación seca)	140.000	4,31	18.087.722	77.958.082	556,8
Bruselas	BRU	Bélgica	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	66.000	10,9	16.999.154	185.290.779	2.807,4
Humberto Delgado	LIS	Portugal	Csa (Clima mediterráneo, verano caluroso)	112.000	8,52	13.265.268	113.020.083	1.009,1
Edimburgo	EDI	Escocia	Cfb (Clima oceánico, sin estación seca)	28.000	3,95	9.049.355	35.744.952	1.276,6
PROMEDIO				-	9,25	31.397.148	328.180.940	1.484,57
MEDIANA				-	8,00	27.421.682	238.832.952	1.276,61

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Alba & Canteli (2016)

El consumo energético total de un terminal de pasajeros de un aeropuerto se estima en promedio en 1.484 kWh/m² al año, considerando elementos como climatización, iluminación interior, equipos de comunicación y navegación, e iluminación de la pista. Este dato es clave para calcular la huella de carbono del aeropuerto, dado que existen limitaciones en datos comparativos, metodologías de cálculo y estudios de análisis de ciclo de vida (ACV) en infraestructura aeroportuaria.

La etapa de uso de un aeropuerto representa aproximadamente el 62% de su huella de carbono, mientras que la fabricación de materiales de construcción como hormigón, cemento y acero concentra el 31%, siendo estos los mayores responsables del impacto ambiental. Aunque es ideal incluir todas las etapas del ciclo de vida en el cálculo de la huella, los esfuerzos deben enfocarse en la operación y fabricación de materiales, ya que son las etapas con mayor impacto en las emisiones totales.

Figura 6-1 Detalle de energía contenida en distintas fases del ciclo de vida de un aeropuerto



Fuente: Traducida desde Xie et al. (2023)

6.2.1 Objetivos de subetapa 7.1

Objetivo General

Determinar si es posible exigir aplicación de metodología completa de medición de huella de carbono de diseño y construcción en proyectos de infraestructura aeroportuaria y poder incorporar su aplicación como un requerimiento dentro del CES de Aeropuertos.

Objetivos específicos

- i. Aplicar la metodología “Análisis de reducción de emisiones de GEI en proyectos aeroportuarios y de conectividad” desarrollada por la Dirección General de Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas, en un anteproyecto referencial desarrollado por la DAP cuyo diseño se basó en requerimientos CES: Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta.
- ii. Analizar y evaluar brechas en aspectos como monitoreo, reporte y verificación de huella de carbono, levantamiento de datos de huella de carbono, calculadoras de huella de carbono y tomadores de decisión.
- iii. Realizar recomendaciones para la aplicación de la metodología de medición de huella de carbono en el diseño y construcción de proyectos de infraestructura aeroportuaria.
- iv. Elaborar anexos con toda la información complementaria (Fichas de productos, resumen de materiales con su información de Carbono incorporado, entre otros).

6.2.2 Caso práctico: Aeropuerto Andrés Sabella

El aeropuerto internacional Andrés Sabella de Antofagasta, ubicado 24 km al norte de la ciudad de Antofagasta, Chile, fue inaugurado en 1954 bajo el nombre de Cerro Moreno y renombrado en 2012 en honor al poeta antofagastino Andrés Sabella. Operando bajo el Sistema de Concesiones desde el año 2000, actualmente está gestionado por el consorcio Sacyr-Cointer desde agosto de 2024. Es el tercer aeropuerto con mayor tráfico de pasajeros en Chile, con 2.638.595 pasajeros en 2024, y también alberga a la Quinta Brigada Aérea de la FACH.

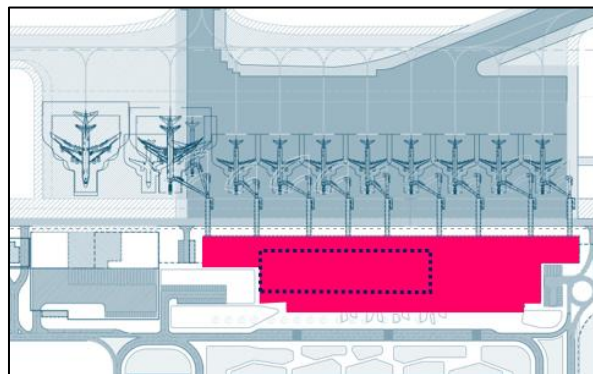
Figura 6-2 Imagen satelital de Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta



Fuente: Google Earth

El anteproyecto referencial “Ampliación y Mejoramiento del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta” contempla principalmente la ampliación del terminal de pasajeros, la habilitación de nuevos edificios de la DGAC y mejoras en la pista de aterrizaje entre otras obras. La obra en su totalidad implica más de 76 mil millones de pesos de inversión y 804.124 metros cuadrados a intervenir, de acuerdo con el presupuesto de la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas y aumentaría la capacidad del aeropuerto en un 208% de acuerdo con las proyecciones, reforzando su posición como el 3^{er} aeropuerto más importante de Chile.

Figura 6-3 Esquema anteproyecto referencial ampliación Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta



Fuente: Dirección de Aeropuertos, Ministerio de Obras Públicas

6.2.2.1 METODOLOGÍA

La metodología del proyecto se basó en el informe de EBP Chile, titulado “Análisis de reducción de emisiones de GEI en proyectos aeroportuarios y de conectividad”, encargado por el Ministerio de Obras Públicas. Este informe sigue la normativa europea EN 15978:2011, que establece métodos de cálculo para evaluar el impacto ambiental de edificios. También se empleó la guía "Whole Life Carbon Assessment For The Built Environment" de RICS, que complementa la aplicación de dicha normativa.

El indicador utilizado en esta evaluación es el Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés), expresado en [kg CO₂ eq], que mide el impacto ambiental de los GEI en términos equivalentes a CO₂. Aunque el GWP y la huella de carbono tienen diferencias metodológicas, para este informe se consideraron conceptos similares, ya que ambos evalúan el impacto combinado de distintos GEI.

Según la EPA, el GWP mide la energía que una tonelada de un gas puede absorber durante un periodo específico (usualmente 100 años) en comparación con una tonelada de CO₂. Gases como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) tienen valores de GWP más altos, lo que significa que contribuyen más al calentamiento global en ese plazo. Este indicador facilita la comparación y suma de emisiones de diferentes GEI en una unidad común.

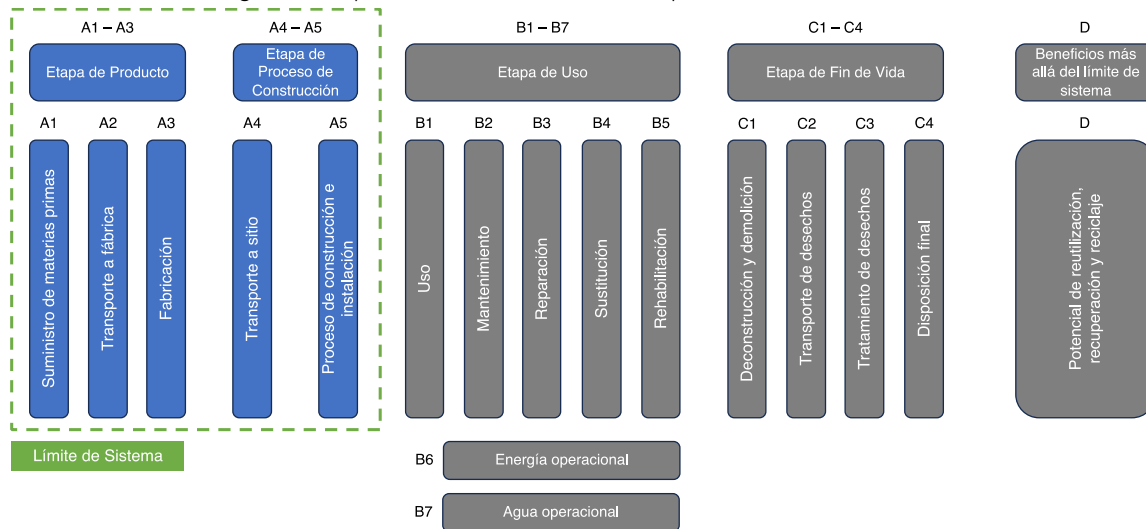
El equivalente funcional en este estudio es el metro cuadrado (m²) de infraestructura aeroportuaria, seleccionado para facilitar el análisis comparativo con otras infraestructuras públicas, considerando la ampliación y mejoramiento del aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta. Aunque otras variables como tiempo o número de pasajeros podrían emplearse, el m² es comúnmente utilizado en análisis de ciclo de vida (ACV).

El análisis de ciclo de vida considera las siguientes etapas:

- **Etapas de Producto (A1–A3):** Incluye la huella ambiental asociada a los materiales de construcción, desde la extracción de materias primas hasta su transporte a los centros de distribución, siguiendo el enfoque "de la cuna a la puerta" (cradle to gate) según la normativa europea EN 15804.
- **Etapas de Proceso de Construcción (A4–A5):** Incluye el transporte de materiales al sitio y los procesos hasta la finalización de la obra.
- **Etapas de Uso (B1–B7):** Cubre desde la operación del edificio hasta su mantenimiento y consumo de energía y agua. Incluye:
 - **Emisiones incorporadas (B1–B5):** Asociadas a mantenimiento y renovaciones.
 - **Emisiones operacionales (B6–B7):** Relacionadas con el consumo energético y de agua.
- **Etapas de Fin de Vida (C1–C4):** Considera emisiones de demolición, desmantelamiento y disposición final de residuos.
- **Etapas de Beneficios (D):** Evalúa el impacto ambiental de la reutilización y reciclaje de materiales.

En este caso de estudio, se analizaron los módulos A (producto y construcción), correspondientes a las emisiones de carbono contenidas en las etapas de diseño y construcción, ya que la licitación del proyecto aún no está concluida a la fecha de haber desarrollado este análisis de la etapa de huella de carbono.

Figura 6-4 Esquema de módulos considerados para análisis de ciclo de vida



Fuente: Elaboración Propia en base a Normativa Europea EN 15978 (European Committee for Standardization, 2011)

La cantidad de materiales evaluados para la ampliación y mejoramiento del aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta se obtuvieron del presupuesto del anteproyecto referencial aprobado por la Dirección de Aeropuertos. Los indicadores ambientales se extrajeron de la base de datos del International EPD® System, que incluye más de 400 empresas de casi 50 países y es considerada la más completa y homogénea en comparación con otras bases como GlobalEPD AENOR o DAPconstrucción.

Las EPD utilizadas se basaron en la metodología EN 15804:2012+A2:2019, salvo cuatro partidas específicas (1 de obra gruesa, 1 de terminaciones y 2 de instalaciones) que se fundamentaron en la versión EN 15804:2012+A1:2014. Aunque esta última no incluye emisiones y capturas de carbono biogénico, la diferencia en los resultados fue mínima y poco significativa.

6.2.2.2 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

6.2.2.2.1 ETAPA DE PRODUCTO (A1-A3)

La huella de carbono de los materiales de construcción se calculó utilizando las especificaciones técnicas y cantidades detalladas en el proyecto. Se priorizó el uso de fichas EPD locales o internacionales vigentes para obtener el índice de calentamiento global (GWP) más representativo de cada material. Según Moretti et al. (2017), este enfoque basado en el análisis de ciclo de vida permite una evaluación objetiva y comparativa de los impactos ambientales de los materiales. Las emisiones de esta etapa se obtienen sumando la cantidad de cada material multiplicada por su GWP.

6.2.2.2.2 ETAPA DE CONSTRUCCIÓN (A4-A5)

El cálculo considera la distancia entre el punto de distribución de materiales y el sitio de la obra, el número de viajes, y el tipo de transporte empleado, utilizando índices de GWP específicos según el vehículo (por ejemplo, camionetas, camiones de 3 y 11 toneladas).

Como la obra a la fecha de este informe aún no ha sido ejecutada, no se dispone de datos sobre el consumo energético directo en la obra. Para este cálculo se utilizaron los índices de GWP de productos cuyas fichas EPD incluyeran la categoría A5. De las 62 fichas EPD utilizadas, el 56,4% incorporaron esta categoría.

6.2.2.3 RESULTADOS

En base a la información disponible, se calculó la huella de carbono contenida en el diseño y la construcción de la ampliación del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta, siendo el resultado de 26.144,7 [ton CO₂ eq].

A modo de comparación, se puede relacionar este resultado a otros indicadores para comprender la magnitud de las emisiones de carbono resultantes. Las emisiones de CO₂ equivalente de la ampliación del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta equivalen a:

- El consumo eléctrico de aproximadamente 35 mil viviendas en un año.
- La absorción de CO₂ de aproximadamente 2.614 hectáreas de bosque en un año.
- Quemar aproximadamente 11,4 millones de litros de gasolina o 9,7 millones de litros de diésel.
- Producir 28.110 toneladas de cemento portland o 14.135 toneladas de acero.

Adicionalmente, las emisiones de CO₂ equivalente se puede relacionar al costo o beneficio social que un proyecto puede generar al aumentar o disminuir sus emisiones de GEI. Según datos de la División de Evaluación Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo Social, para el año 2015 el precio social del carbono era de US\$8,44/tCO₂, lo cual se puede interpretar como el costo global de los daños que dichas emisiones van a generar en el tiempo que permanezcan en la atmosfera. En base a este indicador, el costo social de la ampliación del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta es de US\$220.661, solo por concepto de emisiones de GEI.

Tabla 6-3 Detalle de resultados de emisiones de Ampliación Aeropuerto Andrés Sabella

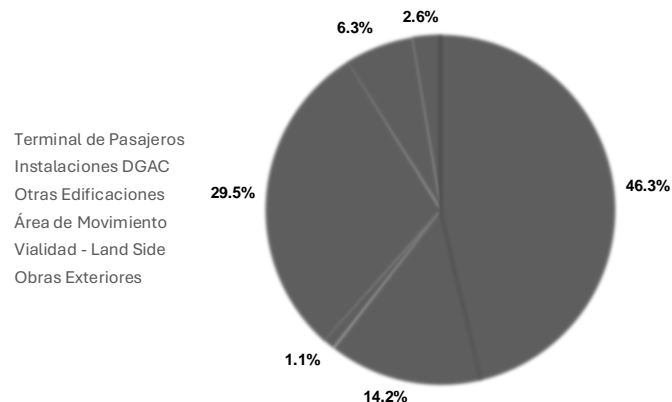
Módulo ACV	Tipo de Partida	Infraestructura Vertical			Infraestructura Horizontal			Total [ton CO2 eq]	Porcentaje Partidas	Porcentaje Módulo ACV
		Terminal de Pasajeros	DGAC	Otras Edificaciones	Área de Movimiento	Vialidad - Land Side	Obras Exteriores			
A1 - A3 [ton CO2 eq]	Mov. Tierra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	92.9%
	Obra Gruesa	5817.9	1394.5	112.3	7324.7	1309.1	39.7	15998.2	61.2%	
	Terminaciones	4827.6	1485.0	114.0	5.0	11.1	0.0	6442.7	24.6%	
	Instalaciones	631.2	582.9	45.3	8.5	21.0	553.8	1842.8	7.0%	
A4 [ton CO2 eq]	Mov. Tierra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0%	2.7%
	Obra Gruesa	136.0	30.0	2.1	59.4	2.7	1.1	231.4	0.9%	
	Terminaciones	341.8	98.8	2.8	0.0	0.0	0.0	443.4	1.7%	
	Instalaciones	14.5	14.2	0.6	0.3	1.0	12.1	42.7	0.2%	
A5 [ton CO2 eq]	Mov. Tierra	19.6	33.2	3.8	166.6	115.4	69.9	408.5	1.6%	4.4%
	Obra Gruesa	0.0	0.0	0.0	139.4	198.4	0.1	338.0	1.3%	
	Terminaciones	300.9	51.0	5.9	0.0	0.0	0.0	357.9	1.4%	
	Instalaciones	24.1	12.5	0.0	0.0	0.0	2.7	39.3	0.2%	
Total [ton CO2 eq]		12113.7	3702.0	286.9	7703.8	1658.7	679.5	26144.7	100.0%	
%		46.3%	14.2%	1.1%	29.5%	6.3%	2.6%	100.0%		

Fuente: Elaboración propia

Esta estimación se basa en la energía contenida del proceso de fabricación de los materiales, el traslado de los materiales a la obra y la construcción de la infraestructura.

En la Tabla 6-3 se observa la huella de carbono detalladas por cada categoría de infraestructura de la ampliación, en donde la mayor fuente de emisiones proviene de la ampliación del terminal de pasajeros con un 46,3% de las emisiones totales de CO₂ equivalente, en donde los ítems más relevantes son las partidas de obra gruesa y las partidas de terminaciones. En segundo y tercer lugar, las obras que poseen una mayor huella de carbono son las obras en la pista de aterrizaje y la infraestructura de la DGAC con un 29,5% y un 14,2% de las emisiones totales respectivamente.

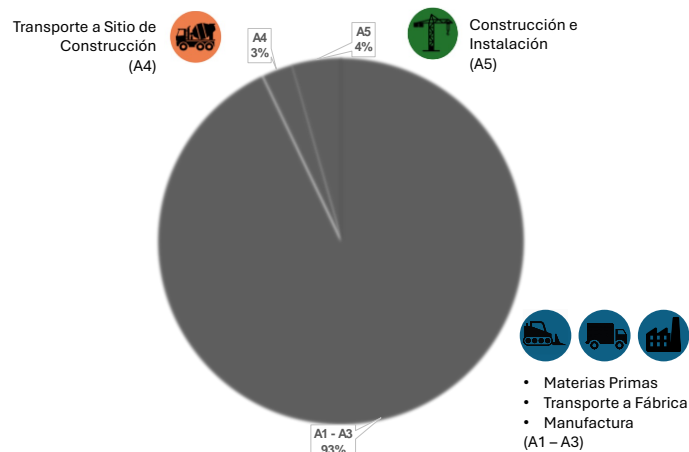
Figura 6-5 Distribución de emisiones por categoría de infraestructura



Fuente: Elaboración Propia

En la infraestructura horizontal, la mayor carga ambiental se genera durante la fabricación de materiales como asfalto y hormigón. En la infraestructura vertical, el impacto se concentra en la obra gruesa (61,2%) y las terminaciones (24,6%). En general, el 93% del carbono contenido en la infraestructura proviene de los materiales seleccionados y utilizados en el diseño y construcción del proyecto.

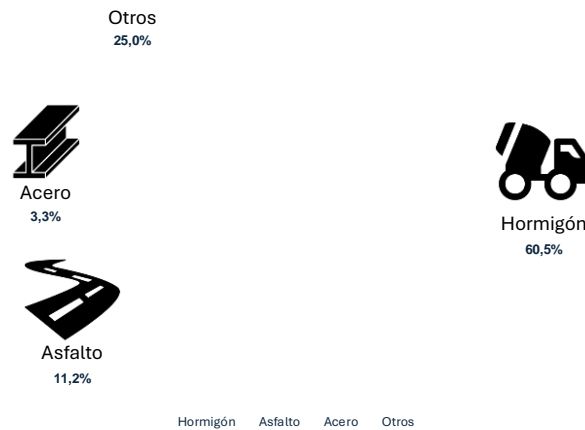
Figura 6-6 Distribución de emisiones de CO₂ equivalente según módulo de ciclo de vida



Fuente: Elaboración Propia

En la obra gruesa, que representa la fase con mayor impacto ambiental, el hormigón es el material más relevante, generando el 60,5% de las emisiones del módulo A1–A3. Esto se debe al proceso de calcinación del cemento, donde la descomposición de carbonato de calcio libera CO₂. Aunque parte de este CO₂ es reabsorbido posteriormente mediante un proceso llamado carbonatación, este fenómeno depende de factores como la relación agua/cemento, la porosidad del hormigón y la humedad ambiental.

Figura 6-7 Distribución de emisiones de CO₂ equivalente en partidas de obra gruesa



Fuente: Elaboración Propia

El cálculo del carbono biogénico no está incluido en la EPD del hormigón fabricado en Chile (metodología EN 15804:2012+A1:2014). Sin embargo, datos de distintas EPDs de hormigón con resistencia de 25 MPa muestran que su impacto en los módulos A1–A3 es inferior al 2%. Por ello, los valores de la EPD chilena (Cementos Bio Bio, código S-P-01722) se consideran válidos y más representativos de la realidad local que los de EPDs internacionales, a pesar de usar metodologías más actualizadas.

Tabla 6-4 Revisión bibliográfica de emisiones de CO₂ equivalente de hormigones

EPD	País	GWP (EN15804+A1:2014) [kg CO ₂ eq / m ³]	GWP _{Total} (EN15804+A2:2019) [kg CO ₂ eq / m ³]	GWP _{Biogénico} (EN15804+A2:2019) [kg CO ₂ eq / m ³]	Dif. A1 y A2	Dif. GWP _{Total} Y GWP _{Biogénico}
S-P-01722	Chile	294	-	-	-	-
S-P-04591	Australia	328	330	3,5	0,6%	1,1%
S-P-06471	India	-	171	2,65	-	1,5%
S-P-08179	Grecia	276	276	4,56	0,0%	1,7%
S-P-05478	Australia	314	317	0,0494	0,9%	0,0%
S-P-06335	Brasil	293	293	0,131	0,0%	0,0%
S-P-05720	Israel	258	261	2,31	1,1%	0,9%
S-P-09361	Grecia	303	303	4,88	0,0%	1,6%
S-P-09353	Australia	296	301	3,19	1,7%	1,1%
S-P-05522	Australia	302,27	306	0,192	1,2%	0,1%
S-P-05505	Australia	243	246	0,138	1,2%	0,1%

Fuente: Elaboración propia en base a información de International EPD® System.

6.2.2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO

En base a los resultados del estudio de la empresa EBP Chile titulado "Análisis de reducción de emisiones de GEI en proyectos aeroportuarios y de conectividad" solicitado por la Dirección General de Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas, se realizó un análisis comparativo con los datos obtenidos del presente caso de estudio (Tabla 6-5) ya que son los únicos datos disponibles a nivel nacional sobre cálculo de huella de carbono de infraestructura aeroportuaria y además son proyectos cuyo cálculo fue realizado con la misma metodología del presente informe (EN 15978:2011).

Tabla 6-5 Comparación de cálculo de huella de carbono de infraestructura aeroportuaria local

Módulo del ciclo de vida	Aeropuerto Andrés Sabella [t CO ₂ eq]	Aeródromo de Peldehue [t CO ₂ eq]	Aeródromo María Dolores [t CO ₂ eq]
A1-A3	24.284	4.315	674
A4	717	666	11
A5	1.144	4.891	267

Módulo del ciclo de vida	Aeropuerto Andrés Sabella [t CO2 eq]	Aeródromo de Peldehue [t CO2 eq]	Aeródromo María Dolores [t CO2 eq]
Total [t CO2 eq]	26.145	9.872	952
Total [t CO2 eq / m2]	0,10	0,13	0,08

Fuente: Elaboración propia en base a datos de EBP Chile

Aunque existe cierta correlación entre las emisiones de los proyectos analizados y su superficie, es importante considerar sus diferencias específicas:

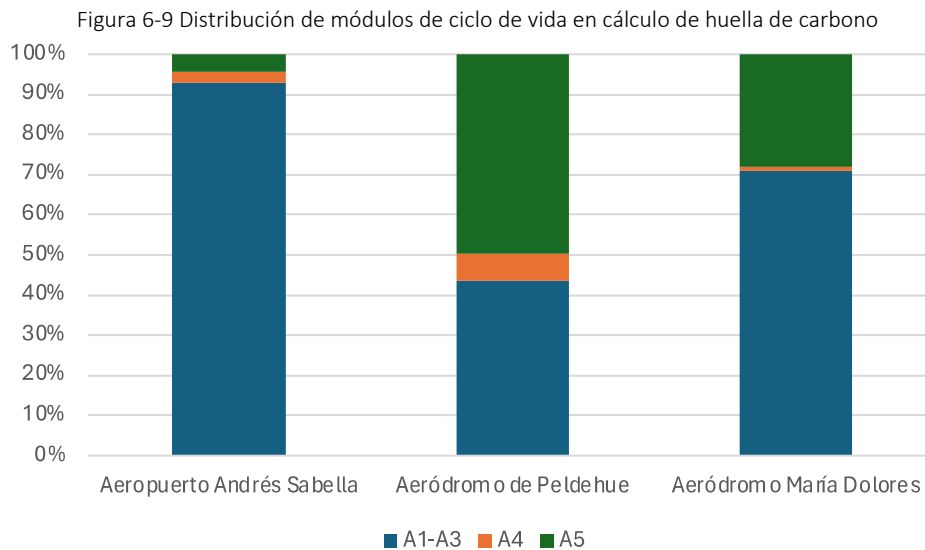
1. Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta: Es el tercer aeropuerto con mayor tráfico de pasajeros en Chile y busca aumentar su capacidad en un 200%. Su infraestructura incluye un terminal de pasajeros de 7.982 m², una pista principal de 2.599 metros, y nuevas instalaciones para la DGAC, orientadas a vuelos nacionales, internacionales, militares y privados.
2. Aeródromo de Peldehue: Se enfoca en operaciones no comerciales, como emergencias, vuelos militares y de instrucción. Su infraestructura está destinada principalmente a oficinas administrativas y control aéreo, con una pista de 1.500 metros y una torre de control equipada con sistemas de radiocomunicación.
3. Aeródromo María Dolores: También orientado a operaciones no comerciales, atiende instituciones públicas, pero está habilitado para vuelos comerciales con autorización. Su infraestructura incluye 900 m² de instalaciones, como torre de control y salas de espera, además de una pista de 1.800 metros.

Figura 6-8 (a) Aeropuerto Andrés Sabella, (b) Aeródromo Peldehue, (c) Aeródromo María Dolores



Fuente: Sociedad Concesionaria Aeropuerto de Antofagasta S.A., Sindicato de pilotos LATAM Airlines Chile (SIPLACH) y Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

Si bien los tres proyectos corresponden a infraestructura aeroportuaria, son tres proyectos de distinta magnitud y distinta naturaleza dentro de su categoría, destinados a distintas funciones (más allá de que los 3 pueden operar vuelos comerciales) y además cuentan con distinta disponibilidad de información, dado que la ampliación del aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta es un proyecto cuya ejecución todavía no comienza, mientras que los otros dos proyectos restantes ya fueron construidos y se cuenta con toda la información en base a datos reales de sus respectivas etapas de construcción, como uso de maquinaria, consumo eléctrico, etc.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de EBP Chile

La distribución de las emisiones de cada proyecto tampoco muestra una clara tendencia (Figura 6-9); sin embargo, se observa que en los tres casos analizados, el módulo A4 correspondiente al transporte de materiales al sitio de construcción tiene un impacto poco significativo en la huella de carbono de la infraestructura, por lo tanto, las medidas que eventualmente se apliquen para la disminución del impacto ambiental de obras aeroportuarias debiesen enfocarse en elementos asociados a la elección de materiales y procesos constructivos, más que de la distancia de la obra respecto a centros de distribución de materiales e insumos necesarios para la construcción.

6.2.2.5 EXPANSIÓN DE LOS LÍMITES DEL SISTEMA

Adicional al análisis realizado en el informe sobre el cálculo de huella de carbono del diseño y construcción de un proyecto aeroportuario, se decidió expandir los límites del sistema considerado para el cálculo de huella de carbono, debido a la relevancia del concepto de carbono operacional dentro del ciclo de vida de una edificación, por lo que se realizó un análisis adicional de huella de carbono considerando la etapa de uso/operación del proyecto (módulos B6).

6.2.2.5.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO – EXPANSIÓN DE LÍMITES

Respecto a las etapas de uso – Carbono Incorporado (B1–B5) no se incluyeron en el estudio debido a la falta de información sobre los materiales necesarios para reparaciones y remodelaciones. Sin embargo, la literatura indica que su impacto ambiental es despreciable en comparación con el ciclo de vida total de un edificio.

En cuanto a las etapas de uso – Carbono Operacional (B6–B7), las emisiones de carbono operacional se estimaron considerando el consumo eléctrico de los sistemas de climatización e iluminación interior y exterior, que representan entre el 85% y 95% del consumo total de un terminal aeroportuario. Dado que el proyecto está en etapa de licitación a la fecha de haber desarrollado este análisis de la etapa de huella de carbono, no se incluyeron datos de otros equipos. El cálculo de emisiones utiliza el índice de calentamiento global de la red eléctrica chilena (SEN), que en 2023 fue de 0,2421 tonCO₂eq/MWh, basado en los promedios publicados por el Ministerio de Energía.

6.2.2.6 RESULTADOS EXPANSIÓN DE LÍMITES

Con la incorporación del módulo B6 de energía operacional, se volvió a calcular la huella de carbono de la ampliación del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta bajo un escenario de 1 año de operación, obteniendo un resultado de 33.364,09 [ton CO₂ eq]. Esta estimación se basa en la energía contenida del proceso de fabricación de los materiales, la construcción de la infraestructura y la energía requerida para su operación (climatización e iluminación) durante un periodo de 1 año.

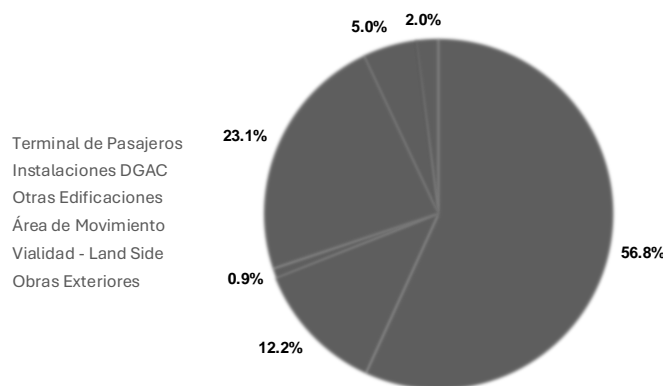
Tabla 6-6 Detalle de resultados de emisiones de Ampliación Aeropuerto Andrés Sabella con carbono operacional

Módulo ACV	Tipo de Partida	Infraestructura Vertical			Infraestructura Horizontal			Total [ton CO2 eq]	Porcentaje Partidas	Porcentaje Módulo ACV
		Terminal de Pasajeros	DGAC	Otras Edificaciones	Área de Movimiento	Vialidad - Land Side	Obras Exteriores			
A1 - A3 [ton CO2 eq]	Mov. Tierra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%	72,8%
	Obra Gruesa	5817,9	1394,5	112,3	7324,7	1309,1	39,7	15998,2	48,0%	
	Terminaciones	4827,6	1485,0	114,0	5,0	11,1	0,0	6442,7	19,3%	
	Instalaciones	631,2	582,9	45,3	8,5	21,0	553,8	1842,8	5,5%	
A4 [ton CO2 eq]	Mov. Tierra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0%	2,2%
	Obra Gruesa	136,0	30,0	2,1	59,4	2,7	1,1	231,4	0,7%	
	Terminaciones	341,8	98,8	2,8	0,0	0,0	0,0	443,4	1,3%	
	Instalaciones	14,5	14,2	0,6	0,3	1,0	12,1	42,7	0,1%	
A5 [ton CO2 eq]	Mov. Tierra	19,6	33,2	3,8	166,6	115,4	69,9	408,5	1,2%	3,4%
	Obra Gruesa	0,0	0,0	0,0	139,4	198,4	0,1	338,0	1,0%	
	Terminaciones	300,9	51,0	5,9	0,0	0,0	0,0	357,9	1,1%	
	Instalaciones	24,1	12,5	0,0	0,0	0,0	2,7	39,3	0,1%	
B6 [ton CO2 eq]	Climatización	6425,6	310,0	11,8	0,0	0,0	0,0	6747,4	20,2%	21,6%
	Iluminación	405,9	62,2	3,9	0,0	0,0	0,0	472,0	1,4%	
Total [ton CO2 eq]		18945,3	4074,2	302,6	7703,8	1658,7	679,5	33364,1	100,0%	
%		56,8%	12,2%	0,9%	23,1%	5,0%	2,0%	100,0%		

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 6-10 se observa al incorporar la energía operacional del edificio, la distribución de las emisiones experimenta un cambio, en donde el terminal de pasajeros aumenta considerablemente su porcentaje de participación dentro de la distribución de emisiones de CO₂ equivalente del aeropuerto, dado que es la infraestructura que más energía requiere, principalmente por sus necesidades de climatización e iluminación, superiores a la de los otros tipos de infraestructuras involucradas en el presente cálculo. Específicamente, con la consideración del carbono operacional, el terminal de pasajeros pasa de 46.3% a un 56.8% de las emisiones totales del aeropuerto en un periodo de funcionamiento de 1 año.

Figura 6-10 Distribución de emisiones por categoría de infraestructura

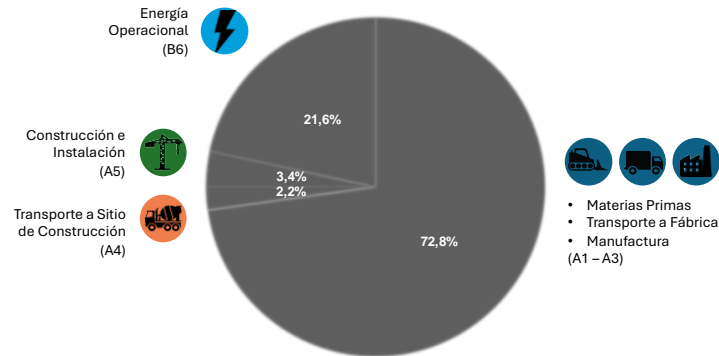


Fuente: Elaboración Propia

Bajo este enfoque metodológico de cálculo de energía operacional para 1 año de operación de la infraestructura, se puede afirmar que el impacto ambiental asociado a las emisiones de GEI provenientes de la construcción del edificio (módulo A1 – A5) equivale a 3 años y 8 meses de operación de la infraestructura analizada.

En la infraestructura horizontal la carga ambiental se concentra en la obra gruesa, específicamente en la etapa de fabricación de los materiales utilizados en este tipo de obras como asfalto y hormigón. Por otro lado, la carga ambiental de la infraestructura vertical se distribuye fundamentalmente entre la energía contenida en la construcción propiamente tal (módulo A1 – A5) y la energía operacional requerida para el correcto funcionamiento de la infraestructura (módulo B6).

Figura 6-11 Distribución de emisiones de CO₂ equivalente según módulo de ciclo de vida



Fuente: Elaboración Propia

6.2.2.7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis incluyó una sensibilización bajo dos escenarios de vida útil del proyecto para evaluar la relevancia de la etapa de operación en las emisiones de CO₂ y su impacto en la huella de carbono con enfoque de ciclo de vida:

- Escenario 1: Vida útil de 20 años, basada en la duración de la tercera concesión del aeropuerto Andrés Sabella.
- Escenario 2: Vida útil de 50 años, como estándar para infraestructura vertical de uso público.

Los resultados muestran que el impacto ambiental aumenta proporcionalmente con la duración de la vida útil, ya que el carbono contenido en los módulos A1–A5 permanece constante, mientras que las emisiones de carbono operacional (B6) se incrementan según el número de años proyectados. Esto resalta la importancia de considerar el periodo de operación para estimar la huella de carbono total de la infraestructura.

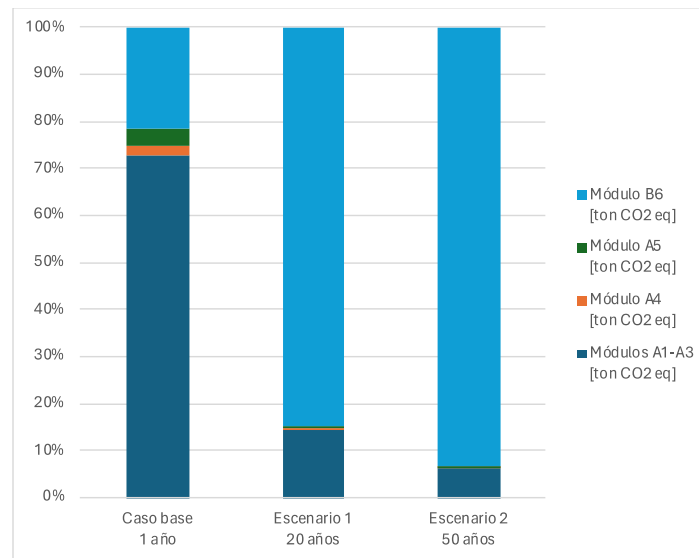
Tabla 6-7 Sensibilización de resultados bajo distintos escenarios de vida útil de infraestructura

Módulos de Ciclo de Vida	Caso base 1 año	Escenario 1 20 años	Escenario 2 50 años
Módulos A1-A3 [ton CO2 eq]	24.283,7	24.283,7	24.283,7
Módulo A4 [ton CO2 eq]	717,4	717,4	717,4
Módulo A5 [ton CO2 eq]	1.143,6	1.143,6	1.143,6
Módulo B6 [ton CO2 eq]	7.219,4	144.387,8	360.969,6
Total [ton CO2 eq]	33.364,1	170.532,5	387.114,3
Aumento respecto al caso base	-	411%	1.060%

Fuente: Elaboración propia

Este análisis de sensibilización bajo este enfoque metodológico muestra que el impacto ambiental asociado a la huella de carbono de un edificio de estas características está concentrado en su etapa de operación y que a medida que se aumenta la cantidad de años en el escenario de operación o vida útil del proyecto, las emisiones provenientes del carbono operacional aumentan proporcionalmente, aumentando también la importancia de este módulo en el análisis con enfoque de ciclo de vida de la infraestructura; por lo tanto, los esfuerzos por disminuir la huella de carbono de este tipo de infraestructuras, deben enfocarse en aumentar la eficiencia energética de estos edificios y disminuir su consumo energético para operar en condiciones normales de uso, considerando que consumen cantidades importantes de energía en su etapa de operación y que además son infraestructuras planificadas bajo escenarios de varias décadas de vida útil.

Figura 6-12 Análisis de sensibilización bajo distintos escenarios de vida útil de infraestructura



Fuente: Elaboración propia

La Figura 6-12 muestra la distribución de los distintos módulos de ciclo de vida de la infraestructura aeroportuaria analizada bajo los distintos escenarios planteados, en donde se observa la clara tendencia explicada anteriormente, en donde la energía consumida en la operación del edificio va cobrando más relevancia en la huella de carbono a medida que se plantean escenarios de vida útil más prolongada en los criterios de análisis utilizados para la cuantificación de emisiones de CO₂ equivalente.

Además, se observa que, en los escenarios de 20 y 50 años de operación, los módulos A4 (transporte de materiales a obra) y A5 (construcción) van perdiendo relevancia dentro del análisis hasta volverse casi despreciables dentro de la visión global de los resultados, por lo que no aportan mayores emisiones a la infraestructura dentro de un escenario de operación de varios años.

6.2.3 Análisis de brechas

Aunque existen metodologías internacionales validadas para calcular la huella de carbono en proyectos de construcción, en Chile persiste una brecha normativa que dificulta el monitoreo, reporte y verificación (MRV) en infraestructura aeroportuaria. Esto genera los siguientes problemas:

- Falta de estandarización: La ausencia de metodologías uniformes dificulta la comparación de resultados y la evaluación precisa del impacto ambiental.
- Falta de transparencia y verificación: La ausencia de procesos claros para MRV puede llevar a datos no verificados o poco confiables.
- Falta de integración de datos y tecnología: Diferentes metodologías complican la integración y análisis de datos, limitando una visión global del impacto ambiental.
- Dificultad en el monitoreo continuo: La falta de normativas para un seguimiento periódico puede resultar en estimaciones imprecisas debido a la ausencia de control sobre las fluctuaciones de datos en tiempo real.

La principal dificultad para aplicar la metodología presentada radica en la escasez de fichas EPD locales que reflejen las características específicas de materiales fabricados en Chile, incluyendo factores como la matriz energética, disponibilidad de materias primas, transporte y procesos de fabricación. Aunque existen iniciativas locales como ECOBASE Construcción

(actualmente inoperativa) y el Pasaporte de Materiales (con solo 11 productos registrados), estas no cubren suficientemente la necesidad de datos para cálculos precisos de huella de carbono.

La base de datos oficial de The International EPD® System incluye 20 fichas EPD con alcance en Chile, destacando empresas como Toshiba, Volcán, Aceros AZA y CAP. En el análisis realizado, de las 62 EPD utilizadas, solo 4 (6,4%) son de origen local, lo que evidencia una brecha significativa de información a nivel nacional.

Aunque las diferencias entre fichas EPD locales e internacionales son mínimas en metodología (EN 15804+A2:2019) y valores de GWP, se recomienda utilizar fichas internacionales como una aproximación válida mientras se desarrollan bases de datos locales más completas. Paralelamente, se sugiere actualizar continuamente los índices para mejorar los cálculos en futuros proyectos y mantener referencias nacionales actualizadas.

Tabla 6-8 Fichas EPD de origen local utilizadas

Producto	Empresa	Código EPD	Uso
Plancha de yeso cartón (Volcanita)	Volcán	S-P-05624	Plancha de yeso cartón ST Plancha de yeso cartón RH Plancha de yeso cartón RF
Hormigón hecho en planta	Cementos Bio Bio	S-P-01722	Elementos de hormigón
Barras de acero de refuerzo	Aceros AZA	S-P-06700	Barras de refuerzo para elementos de hormigón armado
Perfil Acero	Aceros AZA	S-P-06698	Estructuras de acero

Fuente: Elaboración propia en base a información de The International EPD® System

La infraestructura aeroportuaria enfrenta una importante brecha de información debido a la falta de declaraciones ambientales de productos específicos para equipos esenciales, como puentes de embarque, máquinas EDS y cintas de equipaje. Esto dificulta cuantificar el carbono contenido en la construcción y el carbono operacional, ya que estos equipos representan una parte relevante del presupuesto y del impacto ambiental.

En Chile, estudios como el de EBP Chile han abordado emisiones en proyectos aeroportuarios, pero se enfocan en aeródromos, cuyas características difieren significativamente de las de un aeropuerto internacional como el Andrés Sabella, limitando la comparación y la utilidad de estos análisis. Esta falta de datos comparativos no solo dificulta el "benchmarking", sino también el desarrollo de lineamientos, estándares y límites de emisiones que orienten decisiones sobre la sostenibilidad en proyectos aeroportuarios.

6.2.4 Calculadoras de huella de carbono nacionales

En Chile existen tres iniciativas relacionadas al cálculo de huella de carbono para proyectos de construcción: Huella Chile, ABACO Chile, y RUKARU.

- Huella Chile: Programa del Ministerio del Medio Ambiente que fomenta el cálculo y reporte de emisiones de GEI. Incluye herramientas de cálculo, capacitaciones y un sistema de reconocimiento. Sin embargo, su enfoque se limita a la huella de carbono organizacional y no abarca todas las etapas del ciclo de vida, como extracción de materias primas o demolición.
- ABACO Chile: Plataforma digital para calcular costos e indicadores ambientales bajo un enfoque de ciclo de vida, centrándose en los módulos A1–A3. Aunque resulta ser una herramienta útil para evaluar materiales, no cubre etapas posteriores como operación (B1–B7) o fin de vida (C1–C4). Su base de datos, adaptada al contexto chileno, se basa en información de 2013-2017, lo que limita su actualidad y alcance.

- RUKARU: Herramienta de cuantificación desarrollada por EBP Chile bajo el estándar europeo EN 15978:2011. Evalúa proyectos desde la cuna hasta la puerta (A1–A4) y durante la operación (B1–B7). Aunque práctica y flexible, no es de libre acceso.

Aún con la existencia de estas herramientas: existen limitaciones para determinar la unidad funcional y los límites de sistema de proyectos aeroportuarios debido a la falta de datos sobre vida útil o proyección de pasajeros. Estas brechas podrían abordarse mediante normativas internacionales, como el estándar RICS, o a través de directrices del Ministerio de Obras Públicas, permitiendo incorporar la huella de carbono como requisito en la Certificación de Edificio Sustentable.

6.3 SUBETAPA 7.2: ANÁLISIS DE HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN DE HUELLA DE CARBONO EN OPERACIÓN PARA SU APLICACIÓN EN AEROPUERTOS

6.3.1 Objetivos de subetapa 7.2

Objetivo General

Analizar y proponer herramientas y criterios de certificación de huella de carbono operacional aplicables a aeropuertos concesionados y no concesionados en Chile, con el propósito de establecer requisitos de certificación CES que promuevan la sostenibilidad ambiental en la Red Aeroportuaria Nacional.

Objetivos Específicos

- i. Analizar la Airport Carbon Accreditation (ACA) y evaluar las implicancias técnicas, administrativas y económicas de implementar sus requerimientos de en aeropuertos concesionados y no concesionados de Chile.
- ii. Investigar y analizar acreditaciones nacionales e internacionales similares a la Airport Carbon Accreditation (ACA) que establezcan mecanismos de medición y gestión de huella de carbono operacional en aeropuertos.
- iii. Proponer nuevos requisitos de certificación para aeropuertos de la Red Aeroportuaria Nacional a través de la certificación nacional CES tomando como base las mejores prácticas de la industria a nivel nacional e internacional.

6.3.2 Análisis metodológico

La mitigación del cambio climático ha impulsado la adopción de estándares para medir y gestionar emisiones de GEI, destacando dos enfoques clave:

- Norma EN 15978: Diseñada para evaluar el desempeño ambiental de edificios a lo largo de su ciclo de vida (desde la extracción de materias primas hasta la demolición y reciclaje). Es especialmente relevante para infraestructuras aeroportuarias como terminales y hangares, permitiendo un análisis detallado de su impacto ambiental.
- GHG Protocol: Enfocado en la medición y gestión de emisiones GEI de cualquier sector u organización. Clasifica las emisiones en tres alcances: directas, indirectas de energía y otras indirectas a lo largo de la cadena de valor. En el sector de la aviación, es útil para aerolíneas y aeropuertos al abordar emisiones de operaciones directas e indirectas (proveedores, pasajeros y actividades de terceros).

6.3.2.1 EN 15978

La norma europea EN 15978 proporciona un marco integral para evaluar el desempeño ambiental de edificios, abarcando todas las fases del ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta la demolición y reciclaje. Esta metodología, estructurada en módulos para facilitar un análisis detallado, permite identificar emisiones no solo operacionales, sino también aquellas asociadas a la construcción, mantenimiento y fin de vida de una infraestructura. En el contexto aeroportuario, su enfoque de ciclo de vida ofrece ventajas al facilitar decisiones de sostenibilidad desde etapas tempranas de diseño y construcción, lo que reduce costos y aumenta la eficacia de las medidas ambientales. Sin embargo, la norma no está específicamente diseñada para el sector aeroportuario, lo que representa una limitación para abordar aspectos propios del sector, como la gestión del tráfico aéreo y la logística. Aunque estas desventajas no impiden su aplicación, su implementación

en infraestructuras aeroportuarias requiere un trabajo complejo y costoso para recopilar datos específicos de cada fase del ciclo de vida.

6.3.2.2 GHG PROTOCOL

El Protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GHG Protocol) es una iniciativa lanzada en 1998 por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Mundial Empresarial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD). Su objetivo es proporcionar un estándar global para la contabilidad y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), permitiendo a las empresas y organizaciones cuantificar y gestionar sus emisiones. Este protocolo, ampliamente reconocido y utilizado a nivel global, abarca emisiones directas (Alcance 1) e indirectas (Alcances 2 y 3) vinculadas al funcionamiento y la cadena de valor de las organizaciones.

El GHG Protocol clasifica las emisiones en tres alcances. El Alcance 1 incluye emisiones directas de fuentes controladas por la organización, como combustión de combustibles fósiles o fugas de equipos de climatización. El Alcance 2 cubre emisiones indirectas generadas por la producción de electricidad comprada y consumida. Finalmente, el Alcance 3 abarca otras emisiones indirectas relacionadas con actividades de la cadena de valor, como transporte de insumos, viajes laborales o gestión de residuos. Su enfoque en el carbono operativo lo hace aplicable a cualquier organización o sector, incluyendo empresas, gobiernos y ciudades.

Aunque no es una metodología específica para el sector aeroportuario, herramientas como ACERT han adaptado el GHG Protocol para medir las emisiones en la operación de aeropuertos. Esta flexibilidad y su reconocimiento internacional permiten a los aeropuertos mejorar su reputación en sostenibilidad y fortalecer la comunicación con grupos de interés. Sin embargo, la principal limitación de esta metodología es su alto requerimiento de datos detallados, lo que puede ser un desafío para aeropuertos pequeños con recursos limitados y menor capacidad para recopilar información precisa sobre emisiones.

6.3.3 **Análisis Airport carbon accreditation (ACA)**

El Airport Carbon Accreditation (ACA) es un programa voluntario desarrollado por el Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI) en 2009, diseñado para incentivar a los aeropuertos a gestionar y reducir sus emisiones de carbono. Este programa, basado en metodologías reconocidas como el GHG Protocol, es actualmente la única norma mundial específica para la gestión de emisiones de carbono en aeropuertos.

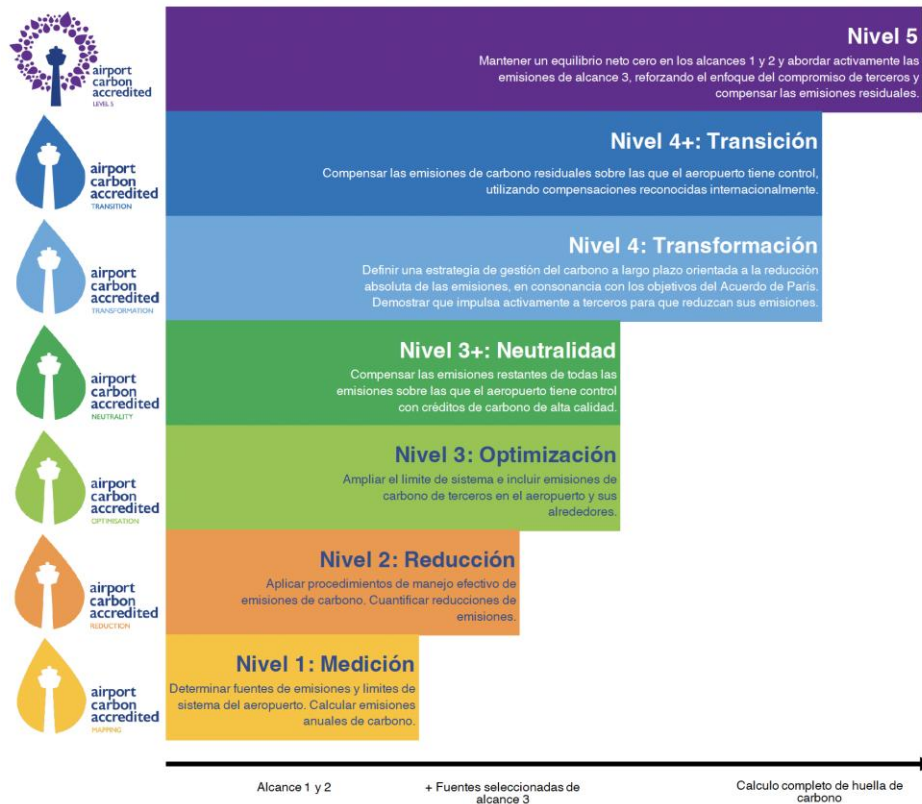
Para participar, los aeropuertos deben establecer sus límites organizativos y operativos siguiendo los lineamientos del GHG Protocol, definiendo las emisiones dentro de tres alcances. El Alcance 1 incluye emisiones directas controladas por el aeropuerto, como combustión en calderas o vehículos propios. El Alcance 2 abarca emisiones indirectas por electricidad, calor o refrigeración comprados. El Alcance 3 considera emisiones indirectas relacionadas con actividades de la cadena de valor que no están bajo control directo del aeropuerto, como movimientos de aeronaves, equipos operados por terceros y gestión de residuos.

Los aeropuertos deben reportar sus datos de huella de carbono utilizando herramientas como el GHG Protocol, la norma ISO 14064-1 o la herramienta ACERT desarrollada por la ACI, pudiendo emplear factores de emisión adaptados a su contexto local. El programa ACA ofrece siete niveles de acreditación, permitiendo a los aeropuertos progresar en sus esfuerzos por reducir emisiones y mejorar su sostenibilidad, reforzando su compromiso con estándares internacionales de gestión ambiental.

El programa ACA, supervisado por ACI Europa y administrado por la consultora internacional WSP, incluye procesos de certificación, formación y evaluación técnica para garantizar su alineación con normativas y avances internacionales en sostenibilidad. Además, cuenta con un grupo de trabajo técnico integrado por representantes de aeropuertos acreditados, ACI y WSP, que revisan el programa periódicamente.

Un Consejo Asesor Independiente, conformado por organismos internacionales como la ONU, la ICAO y la Comisión Europea, entre otros, supervisa la orientación política y fomenta el reconocimiento externo del programa, garantizando su relevancia y contribución al compromiso global contra el cambio climático.

Figura 6-13: Descripción niveles de acreditación ACA



Fuente: Elaboración propia en base a datos de Airports Council International (2023)

6.3.3.1 CONTEXTO ACTUAL

Hasta septiembre de 2024, existen 591 aeropuertos certificados en todo el mundo (representando el 52,6% del tráfico aéreo global), de los cuales 22 se encuentran en Sudamérica; 8 en Brasil, 6 en Argentina, 3 en Ecuador, 2 en Perú, 1 en Colombia, 1 en Uruguay y 1 en Chile, correspondiente al Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago (SCL) que posee una certificación de nivel 2.

En 2024, el Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez (SCL) en Santiago registró más de 25,8 millones de pasajeros, representando el 60% del tráfico aéreo de Chile y posicionándose como el quinto aeropuerto con mayor volumen de pasajeros en América Latina. Administrado por Nuevo Pudahuel S.A., el aeropuerto ha adoptado compromisos medioambientales significativos, incluyendo la certificación ACA de nivel 2 en 2021, con una reducción del 11% en emisiones absolutas de GEI. Además, planea reducir su huella de carbono en un 50% para 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono para 2050 mediante energías renovables, sustitución de combustibles fósiles y eficiencia energética.

Entre sus medidas destacadas, el aeropuerto instaló una planta solar fotovoltaica de 825 kWp que suministra energía al terminal T1, reduciendo 527 toneladas de CO₂ al año. También reemplazó luminarias fluorescentes por iluminación LED, disminuyendo el consumo eléctrico en un 50% y las emisiones en 753 toneladas anuales. Todo su consumo eléctrico proviene de energías renovables gracias a un contrato con ENGIE, y opera bajo un sistema de gestión energética certificado según la norma ISO 50001, en línea con la ley 21.305 de eficiencia energética.

Para reducir emisiones en el consumo de combustibles, el aeropuerto cambió calderas industriales por equipos más eficientes, logrando un ahorro del 59% en GLP y una disminución anual de 1.100 toneladas de CO₂. Además, desde 2021, Nuevo Pudahuel trabaja en la certificación de un sistema de gestión integral que incluye calidad (ISO 9001) y gestión ambiental (ISO 14001), reforzando su compromiso con la sostenibilidad.

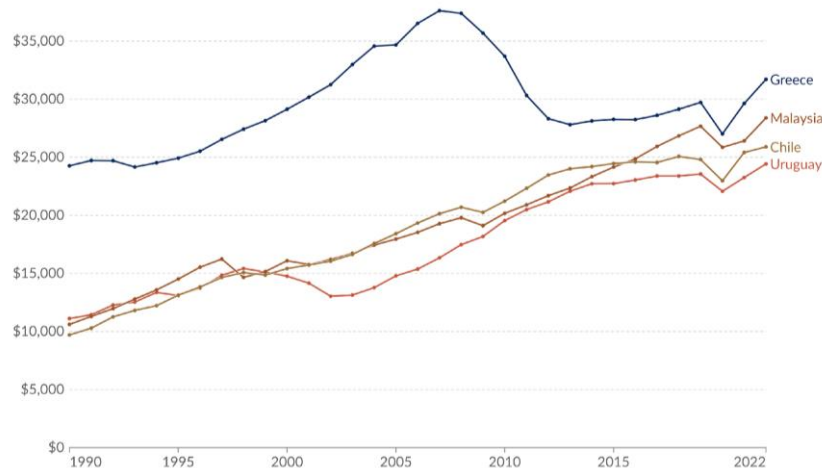
6.3.3.2 CASOS DE EJEMPLO

Para la selección de casos de ejemplo de aplicación de la herramienta ACA, se utilizaron 3 criterios distintos que permitan seleccionar casos similares a la realidad chilena desde distintas perspectivas, con el objetivo de poder comparar y establecer similitudes atinentes a la situación de la infraestructura aeroportuaria local. Estos casos seleccionados no solamente permiten tener una noción global de cuál es el avance real de la infraestructura aeroportuaria local en cuanto a sustentabilidad y manejo de impacto ambiental, sino que permite tener idea de las distintas estrategias e iniciativas que pueden ser aplicadas en un aeropuerto para disminuir sus emisiones de GEI.

6.3.3.2.1 CRITERIO ECONÓMICO

Como primer criterio de comparación con Chile, se utilizó el PIB per cápita como indicador económico para buscar y analizar casos de aeropuertos certificados de países con economías similares a Chile, las cuales se comparan en la Figura 6-14. Si bien el PIB per cápita es un indicador que tiene ciertas limitaciones como el hecho de no considerar la desigualdad, el bienestar de la población, el poder adquisitivo ni la economía informal de los países, es un indicador simple de alta disponibilidad que permite establecer comparaciones rápidas entre países, además de ser un indicador general del nivel de vida y el desarrollo económico de cada país.

Figura 6-14: PIB per cápita entre 1990 y 2022 ajustado por inflación y costo de vida



Fuente: Our World in Data con datos del Banco Mundial (2023)

Los tres aeropuertos seleccionados bajo este criterio son:

- Aeropuerto Internacional Eleftherios Venizelos (ATH), Grecia: Principal aeropuerto de Grecia, operado bajo concesión por Athens International Airport S.A. En 2023 obtuvo la certificación ACA nivel 4+, destacando una reducción del 60% en emisiones desde 2005, compensación de emisiones residuales desde 2015, y la implementación de sistemas de gestión medioambiental (ISO 14001). También exige estándares similares para empresas externas.
- Aeropuerto Internacional de Kuala Lumpur (KUL), Malasia: Único aeropuerto del país con certificación ACA (nivel 3). Operado por Malaysia Airports Holdings Berhad, cuenta con un plan ambiental para lograr carbono neutral en alcances 1 y 2 al 2040 y neutralidad total al 2050. Incluye medidas como energías renovables, eficiencia energética, y un inventario de GEI proyectado para 2026.
- Aeropuerto Internacional de Carrasco (MVD), Uruguay: Único aeropuerto certificado en Uruguay, con ACA nivel 2, ISO 14001 e ISO 14064. Planea alcanzar la neutralidad de carbono al 2050 mediante energía solar, bombas de calor, luminarias LED y vehículos eléctricos. Monitorea consumo energético y transformación de residuos.

6.3.3.2.2 CRITERIO GEOGRÁFICO

Dentro de los aeropuertos de Latinoamérica que cuentan con algún nivel de certificación en el programa ACA, se eligieron los 3 casos más relevantes por el nivel de certificación que poseen, los cuales se detallan a continuación.

- Aeropuerto Internacional del Cibao (STI), República Dominicana: Tercer aeropuerto del país, con certificación ACA nivel 3 desde 2020. Implementó una planta fotovoltaica de 3 MW, medidas de eficiencia energética y un sistema de gestión de emisiones para actividades externas.
- Aeropuerto Internacional El Dorado (BOG), Colombia: Segundo aeropuerto con mayor tráfico en América Latina, certificado ACA nivel 4. Planea reducir emisiones en un 57% para 2028 mediante estaciones de carga eléctrica y sistemas de monitoreo basados en el GHG Protocol. Es el primer aeropuerto del mundo con certificación LEED Platino.
- Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre (UIO), Ecuador: Principal aeropuerto de Ecuador, certificado ACA nivel 4+. Desde 2014, ha reducido sus emisiones en un 50% y planea alcanzar el Net Zero en 2050. Destaca por su monitoreo continuo de GEI y reconocimientos internacionales por sostenibilidad.

6.3.3.2.3 CRITERIO FUNCIONAL

Se eligieron 3 aeropuertos latinoamericanos similares al Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez de Santiago de Chile (aproximadamente 25,8 millones de pasajeros el año 2024), con el objetivo de comparar casos de aplicación de la certificación ACA en infraestructura aeroportuaria de características similares al aeropuerto más importante de Chile.

- Aeropuerto Internacional Jorge Chávez (LIM), Perú: Principal aeropuerto de Perú, certificado ACA nivel 3. Planea alcanzar cero emisiones al 2045 mediante energías renovables, luminarias LED y mejoras en climatización. Es operado por Lima Airport Partners, parte del grupo Fraport AG.
- Aeropuerto Internacional Juscelino Kubitschek (BSB), Brasil: Tercer aeropuerto más transitado de Brasil, con certificación ACA nivel 2 desde 2023. Ha instalado una planta fotovoltaica para cubrir el 7% de su demanda energética y sistemas renovables para alimentar equipos en tierra.
- Aeropuerto Internacional Miguel Hidalgo y Costilla (GDL), México: Tercer aeropuerto más transitado de México, certificado ACA nivel 3. Su operador, Grupo Aeroportuario del Pacífico, busca reducir emisiones en un 90% para 2030 mediante vehículos eléctricos, certificaciones LEED y un sistema de gestión ambiental ISO 14001.

6.3.3.3 RESUMEN CASOS DE EJEMPLOS

En la Tabla 6-9 se puede observar una comparación del aeropuerto SCL con los casos seleccionados según cada criterio de comparación.

Tabla 6-9: Resumen de casos de estudio

Criterio de Análisis	Indicador	Referencia Aeropuerto Arturo Merino Benítez (SCL)	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Económico	PIB per cápita	PIB: 25.886 \$USD	Aeropuerto Eleftherios Venizelos (ATH), Grecia PIB: 31.704 \$USD	Aeropuerto de Kuala Lumpur (KUL), Malasia PIB: 28.384 \$USD	Aeropuerto de Carrasco (MVD), Uruguay PIB: 24.427 \$USD
Geográfico	Continente	Latinoamérica	Aeropuerto del Cibao (STI), República Dominicana Nivel 3+: Neutralidad	Aeropuerto El Dorado (BOG), Colombia Nivel 4: Transformación	Aeropuerto Mariscal Sucre (UIO), Ecuador Nivel 4+: Transición
Funcional	Tráfico anual de pasajeros	Pasajeros: 25,8 millones (2024)	Aeropuerto Jorge Chávez (LIM), Perú Pasajeros: 24,5 millones (2024)	Aeropuerto Presidente Juscelino Kubitschek (BSB), Brasil Pasajeros: 15,1 millones (2024)	Aeropuerto Miguel Hidalgo y Costilla (GDL), México Pasajeros: 17,8 millones (2024)

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Normativas y acreditaciones similares

La medición y gestión de emisiones de carbono en el sector de la aviación civil se rige actualmente por una serie de normativas y programas internacionales diseñados específicamente para este sector, el cual posee diversos organismos y empresas involucradas, con estructuras organizacionales complejas, con múltiples partes interesadas y diversas fuentes de emisión, por lo que la aplicación de estas normativas es esencial para la correcta medición, reporte y gestión de la huella de carbono de este sector.

Entre las normativas más relevantes a nivel internacional, se destacan las siguientes:

6.3.4.1 CARBON OFFSETING AND REDUCTION SCHEME FOR INTERNATIONAL AVIATION (CORSIA)

CORSIA (Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional) es un programa creado en 2016 por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para que la aviación internacional compense sus emisiones de CO₂ mediante la compra de unidades del mercado de carbono. Los operadores deben calcular sus emisiones anuales con la herramienta CERT de la OACI para determinar los requisitos de compensación.

Además, la OACI promueve medidas para desarrollar tecnologías, mejorar la gestión del tránsito aéreo y fomentar combustibles sostenibles, con el objetivo de aumentar un 2% anual la eficiencia del combustible y lograr un crecimiento neutro en carbono desde 2020.

Chile, como parte de CORSIA, implementó en 2019 un sistema de monitoreo, registro y verificación (MRV) de emisiones de vuelos internacionales, según el "Plan de Acción de Chile" de 2022.

6.3.4.2 CO₂ ESTIMATION AND REPORTING TOOL

La CO₂ Estimation And Reporting Tool (CERT) fue desarrollada por la Organización de Aviación Civil Internacional para facilitar la implementación de las normas y prácticas recomendadas relativas al Plan de Compensación y Reducción de Carbono para la Aviación Internacional (CORSIA). Es una herramienta gratuita, basada en Microsoft Excel y basada en un modelo de cálculo de emisiones desarrollada por la propia OACI, en base a distintas fuentes de modelos y datos, entre los cuales se encuentra la Base of Aircraft Data (BADA), factores de emisión del Panel Intergubernamental Sobre el Cambio Climático (IPCC), datos de fabricantes de aeronaves (Airbus, Boeing, etc.), modelos de emisiones de la Administración Federal de Aviación de EE.UU. (FAA) y modelos metodológicos desarrollados por la propia OACI.

La herramienta CERT está destinada a estimar y reportar las emisiones de CO₂ derivadas de las operaciones de aeronaves en el contexto del programa CORSIA, por lo que su alcance solamente se limita a los vuelos internacionales y no a las emisiones de los aeropuertos y sus distintas áreas operativas, por lo que los datos de entrada o "inputs" se basan en los tiempos de vuelo, el tipo de combustible y la cantidad de combustible consumido por cada aeronave incluida en el reporte.

6.3.4.3 AIRPORT CARBON EMISSIONS REPORTING TOOL

La Airport Carbon Emissions Reporting Tool (ACERT) es una herramienta gratuita y autoexplicativa basada en Excel, desarrollada por la ACI para que los aeropuertos calculen sus emisiones de GEI. Diseñada según los lineamientos del GHG Protocol, no requiere conocimientos especializados y se utiliza con datos básicos de la operación aeroportuaria.

ACERT mide, gestiona y reduce las emisiones de todas las actividades del aeropuerto, incluyendo operaciones de vuelo, vehículos terrestres, consumo eléctrico y otras actividades de la cadena de valor. Permite usar factores de emisión propios o predefinidos para calcular el CO₂ equivalente.

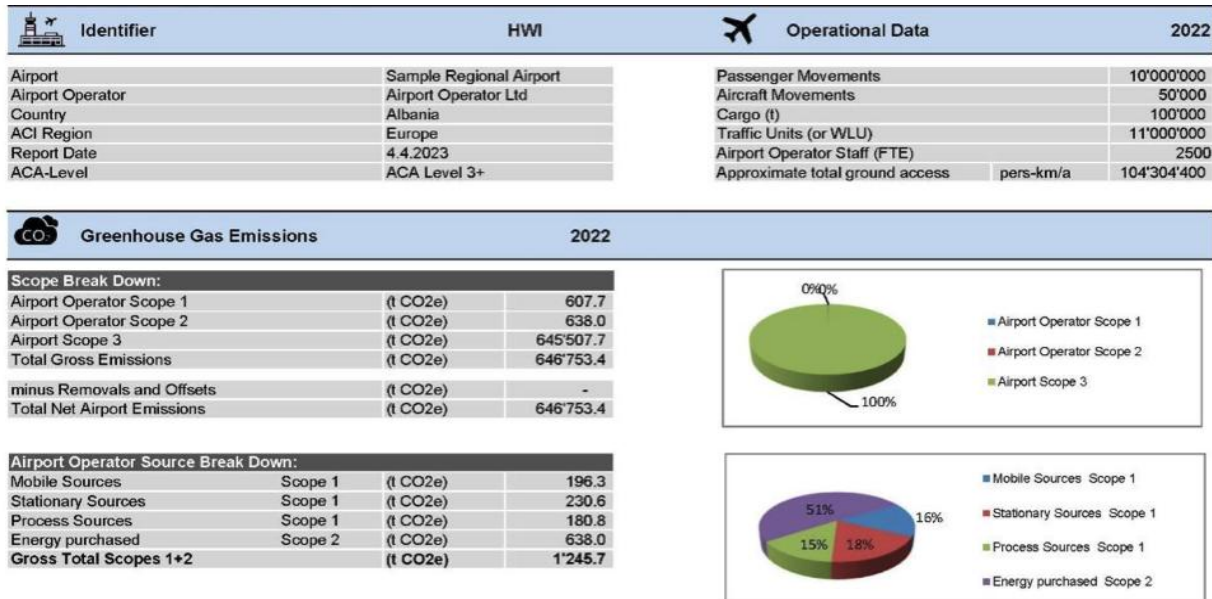
Aunque no es exclusiva para la acreditación ACA, ACERT es compatible con sus requisitos, facilitando el reporte de emisiones en todos los niveles de acreditación.

Aunque no se ha implementado ACERT en aeropuertos de Chile, su uso es altamente recomendable para medir y gestionar emisiones de CO₂ en la infraestructura aeroportuaria local. Esta herramienta, desarrollada por la ACI y compatible con la

acreditación ACA, es fácil de usar, autoexplicativa y no requiere experiencia avanzada en gestión de emisiones. Solo exige datos básicos sobre energía, transporte, operaciones y gestión de residuos, generando resultados automáticos y reportes intuitivos que identifican áreas de mejora.

Para su implementación en Chile, se necesitan acciones como capacitación de recursos humanos y desarrollo de guías técnicas y procesos estandarizados para garantizar la fiabilidad de los datos y una mejora continua en su aplicación.

Figura 6-15: Ejemplo de reporte de emisiones herramienta ACERT



Fuente: ACERT, Airports Council International (ACI)

6.3.4.4 EUROPEAN UNION EMISSIONS TRADING SYSTEM

El Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea (EU ETS, por sus siglas en inglés) es un régimen multilateral de la Unión Europea que opera en todos sus países (incluyendo Islandia, Liechtenstein y Noruega) y que busca fijar límites a las emisiones totales de las instalaciones cubiertas, que se reducen cada año. Dentro de esos límites, las empresas pueden comprar y vender los derechos de emisión que necesiten. Dentro de los límites de emisiones, se encuentran incluidos los operadores de vuelos con origen o destino en los Estados miembros de la UE o que salen hacia Suiza y el Reino Unido, en línea con las medidas adoptadas por la OACI.

Las emisiones relacionadas a la operación de vuelos internacionales deben seguir el lineamiento metodológico establecido en la decisión de la comisión del 16 de abril de 2009 que modifica la Decisión 2007/589/CE con respecto a la inclusión de directrices para el seguimiento y la notificación de emisiones y datos sobre las toneladas-kilómetro resultantes de actividades de aviación. En base a lo anterior, el régimen EU ETS solamente involucra las emisiones provenientes de las aeronaves y no de la operación de infraestructura aeroportuaria.

6.3.5 Análisis normativos adicionales

El programa Huella Chile, implementado en 2013 por el Ministerio del Medio Ambiente, promueve la gestión de GEI en organizaciones públicas y privadas de manera gratuita. Su creación responde a los compromisos internacionales adquiridos por Chile en materia ambiental, como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Acuerdo de Copenhague y el Acuerdo de París. Desde 2015, cuenta con una herramienta de cálculo basada en la norma ISO 14064-1, permitiendo a las organizaciones cuantificar sus emisiones en los alcances 1, 2 y 3, así como registrar reducciones o remociones de GEI con un enfoque progresivo hacia la sostenibilidad. Actualmente, el programa ofrece cuatro niveles de certificación: Cuantificación, Reducción, Neutralización y Excelencia.

Para 2024, el programa cuenta con 2.378 organizaciones registradas de distintos sectores, como transporte, energía, educación y municipios. En el ámbito aeroportuario, destacan empresas como Nuevo Pudahuel S.A., operador del Aeropuerto de Santiago Arturo Merino Benítez, junto con Sky Airline y Aerosan Airport Service. La implementación del programa se facilita mediante metodologías estandarizadas, capacitaciones y herramientas prácticas que aseguran resultados consistentes y comparables a nivel nacional e internacional.

Si bien el programa Huella Chile no está directamente vinculado con la acreditación internacional ACA (Airport Carbon Accreditation), ambos comparten principios fundamentales. Ambas iniciativas utilizan la metodología del GHG Protocol, el estándar más usado para el cálculo de carbono operacional, y fomentan la carbono neutralidad al 2050 en línea con los compromisos ambientales de Chile. Además, ambos sistemas aplican una metodología escalonada que permite a las organizaciones avanzar gradualmente, desde la medición de emisiones hasta su neutralización, promoviendo la mejora continua y una mayor precisión en los datos. Esta similitud permite que la información recopilada para Huella Chile también pueda ser utilizada en la acreditación ACA, optimizando esfuerzos y facilitando que los operadores de infraestructura aeroportuaria cumplan con estándares nacionales mientras avanzan hacia un reconocimiento internacional en materia de sostenibilidad aeroportuaria.

En el ámbito de la construcción, la Estrategia Nacional de Huella de Carbono en el Sector Construcción, elaborada en 2021 por el Comité de Huella de Carbono para el Sector Construcción, establece lineamientos para la gestión de emisiones de GEI en el sector. Este documento, encabezado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) y el Instituto de la Construcción (IC), define acciones concretas para medir, reportar y reducir la huella de carbono en edificaciones, en concordancia con los objetivos de carbono neutralidad de Chile.

Uno de sus objetivos estratégicos es la incorporación de nuevas exigencias e incentivos para que tanto los proyectos de construcción de nueva infraestructura pública, incluyendo aeropuertos, como las edificaciones existentes, reporten y reduzcan su huella de carbono tanto incorporada como operacional. Para lograrlo, la estrategia plantea cuatro ejes transversales de acción. En primer lugar, la gobernanza, que fortalece la vinculación y toma de decisiones entre las instituciones estatales. Luego, el marco regulatorio y de fiscalización, enfocado en promover normativas, instrumentos y mecanismos de control. Además, se incluyen acciones de fomento e incentivos, con el fin de generar estímulos desde el mercado y facilitar el acceso a financiamiento para proyectos sustentables. Finalmente, la formación y difusión se plantea como un eje clave para la capacitación y concienciación de los actores del sector de la construcción y la ciudadanía en general.

Aquellas acciones asociadas a la incorporación de nuevas exigencias de medición de carbono operacional de proyectos aeroportuarios se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 6-10: Acciones relacionadas al carbono operacional de infraestructura aeroportuaria

Acción	Eje Transversal	Temporalidad	Instituciones Involucradas
Articular con el Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes u otro actor afín, la consolidación de una plataforma de registro pública de emisiones de CO _{2eq} de proyectos de edificación e infraestructura, que permita que consultores o empresas de forma directa puedan subir la información.	Gobernanza	Corto y mediano plazo (2025-2030)	MINVU, MMA, HuellaChile, IC, Chile GBC.
Generar una instancia de coordinación a nivel de los ministerios: MINVU, MOP, MMA y Energía para planificar anualmente las líneas de trabajo y estudios a contratar asociados a huella de carbono en el sector de la construcción.		Corto plazo (2025)	MINVI, MOP.
Actualizar los estándares de certificación de edificios nacionales (CVS y CES) para que soliciten reportar información referente a emisiones GEI en las distintas etapas del ciclo de vida de los proyectos evaluados e incorporen criterios que beneficien a aquellos proyectos que reducen emisiones respecto a las líneas base establecidas.	Marco Regulatorio y Fiscalización	Mediano plazo (2030)	MINVU, IC, Chile GBC, MOP.
Incorporar requerimientos en las bases de licitación que fomenten la cuantificación de la huella de carbono y reducción de emisiones en proyectos de inversión pública (viviendas de interés social e infraestructura de uso público).		Mediano y largo plazo (2030-2040)	MINVU, MOP, CChC.

Acción	Eje Transversal	Temporalidad	Instituciones Involucradas
Promover e integrar en la regulación de edificación sostenible y certificaciones de vivienda y edificios criterios de economía circular que promuevan el uso de materiales o sistemas constructivos que reduzcan la generación de residuos y las emisiones asociadas.		Corto y mediano plazo (2025-2030)	MINVU, MOP, Construye 2025, IC, Centros Tecnológicos.
Incorporar los conceptos asociados a gestión del carbono en edificaciones de manera armonizada en los diferentes instrumentos del marco normativo nacional, tales como políticas, normas, certificaciones, planes, etc.		Corto y mediano plazo (2025-2030)	IC, MOP, MINVU, MMA, MinEnergía, CTEC, Chile GBC.
Generar una guía y un proceso de acompañamiento para que los actores del sector de la construcción se informen de manera estandarizada sobre los mecanismos de gestión de información de la huella de carbono que serán implementados, en particular sobre el sistema Medición, Reporte y Verificación (MRV).	Formación y Difusión	Corto y mediano plazo (2025-2030)	IC, MMA, HuellaChile, MINVU, Chile GBC.

Fuente: Elaboración propia, en base a Estrategia Nacional de Huella de Carbono en el Sector Construcción, EBP Chile (2021)

La Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 es una política pública que orienta la transición hacia una economía circular en el país, promoviendo el uso eficiente y sostenible de los recursos. Publicada en 2021 y desarrollada por el Ministerio del Medio Ambiente junto a otras entidades como el Ministerio de Economía, CORFO y la Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático, esta iniciativa establece metas a mediano y largo plazo y agrupa 28 acciones en cuatro ejes: la innovación circular, para fomentar sistemas productivos de bajo impacto ambiental; la cultura circular, centrada en la educación y concienciación de la sociedad; la regulación circular, con el objetivo de generar un marco normativo adecuado; y los territorios circulares, que buscan impulsar el desarrollo sostenible en función de las características de cada región. Aunque no menciona específicamente la huella de carbono en la operación aeroportuaria, incluye acciones enfocadas en la reducción de residuos sin comprometer la eficiencia operativa, el aumento de la tasa de reciclaje y la medición de la huella de carbono organizacional.

Tabla 6-11: Indicadores de desempeño establecidos en la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040

Indicador	Metal al 2030	Metal al 2040
1ª Meta: Generación de empleos	100.000 nuevos empleos verdes	180.000 nuevos empleos verdes
2ª Meta: Generación de residuos sólidos municipales por habitante	Disminución del 10%	Disminución del 25%
3ª Meta: Generación total de residuos por PIB	Disminución del 15%	Disminución del 30%
4ª Meta: Productividad material	Aumento de 30%	Aumento de 60%
5ª Meta: Tasa general de reciclaje	Aumento al 40%	Aumento al 75%
6ª Meta: Tasa de reciclaje de residuos sólidos municipales	Aumento al 30%	Aumento al 65%
7ª Meta: Recuperación de sitios afectados por la disposición ilegal	Recuperación del 50%	Recuperación del 90%

Fuente: Informe Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040, Ministerio del Medio Ambiente (2021)

En el ámbito de la gestión ambiental, la norma ISO 14001 es el principal estándar internacional dirigido a organizaciones que buscan reducir su impacto ambiental mediante la implementación de un Sistema de Gestión Ambiental (SGA). Basado en la mejora continua y el monitoreo constante de procesos, este estándar permite a las organizaciones cumplir con sus objetivos de sostenibilidad. Dentro del sector aeroportuario, la ISO 14001 se alinea con otras normativas como la ISO 50001 y la ISO 20400, y es reconocida en la estrategia de sostenibilidad de aeropuertos de ACI Europa. Además, es una herramienta clave para avanzar en los niveles de certificación ACA, dado que la mayoría de los grandes aeropuertos con certificación ACA de nivel 3 o superior cuentan con un sistema de gestión ambiental certificado bajo esta norma.

Complementando la gestión ambiental, la norma ISO 14046 se enfoca en la evaluación de la huella hídrica de productos, procesos y organizaciones. Basada en el análisis de ciclo de vida, permite cuantificar los impactos ambientales asociados al uso del agua y fomentar su optimización. En el caso de los aeropuertos, su implementación se relaciona estrechamente con la huella de carbono, ya que el consumo de agua y las emisiones de GEI están interconectadas, dado que su tratamiento y distribución requieren energía.

La norma ISO 14064 establece un marco estandarizado para la cuantificación, reporte y verificación de emisiones de GEI, asegurando la transparencia y credibilidad de los informes. Se divide en tres partes: la ISO 14064-1, que proporciona directrices para la cuantificación y reporte de inventarios de GEI a nivel organizacional; la ISO 14064-2, que define requisitos para el seguimiento y reporte de reducciones de emisiones en proyectos específicos; y la ISO 14064-3, que establece pautas para la validación y verificación de declaraciones de GEI por parte de organismos independientes.

En materia de compras sostenibles, la norma ISO 20400 proporciona lineamientos para integrar criterios de sostenibilidad en la cadena de suministro de las organizaciones, priorizando decisiones que reduzcan los impactos ambientales y sociales. Para los aeropuertos, su implementación es crucial en la gestión de las emisiones de alcance 3, aquellas generadas por proveedores y terceros que operan dentro de las instalaciones.

En cuanto a la eficiencia energética, la norma ISO 50001 establece los requisitos para la implementación de un Sistema de Gestión de la Energía (SGE), permitiendo a las organizaciones mejorar su desempeño energético sin afectar su competitividad. Dado que las emisiones de GEI en la operación aeroportuaria provienen en gran parte del consumo energético para climatización, iluminación y equipos electromecánicos, la adopción de esta norma contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono. Su integración con normativas como la ISO 14001 y la ISO 14064 permite un enfoque más estructurado y eficiente en la gestión ambiental y energética. En este contexto, la Agencia de Sostenibilidad Energética y el Ministerio de Energía publicaron en 2018 una guía para la implementación de la ISO 50001, orientada a facilitar su adopción y mejorar los resultados en la gestión de la energía.

A nivel europeo, la certificación EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) es un sistema voluntario de gestión ambiental similar a la ISO 14001, pero con requisitos más exigentes. Establecida en 1993 y ampliada a nivel global en 2009, la EMAS obliga a las organizaciones a publicar una declaración ambiental validada, garantizar la participación de los empleados y someterse a auditorías externas más detalladas.

6.3.6 Implementación Airport Carbon Accreditation

La Airport Carbon Accreditation (ACA) es una normativa global clave para la sostenibilidad ambiental en aeropuertos, diseñada para medir, gestionar y reducir las emisiones de GEI. Su implementación ofrece múltiples beneficios tanto a nivel individual como para el sector de la aviación en general:

- Enfoque estructurado y sistemático: Proporciona un marco claro para identificar, monitorear y reducir emisiones, estructurado en niveles de acreditación progresivos (como Mapeo, Reducción y Optimización), con directrices detalladas.
- Cumplimiento de objetivos climáticos: Ayuda a los aeropuertos a alinearse con metas nacionales e internacionales, como los compromisos del Acuerdo de París.
- Mejora de la imagen corporativa: Refuerza la reputación del aeropuerto en sostenibilidad, atrayendo aerolíneas, pasajeros e inversores. También fortalece relaciones con comunidades locales, reguladores y socios comerciales.
- Eficiencia y ahorro: La adopción de tecnologías limpias y medidas de eficiencia energética reduce costos operacionales y optimiza el uso de recursos en el mediano y largo plazo.

La implementación de la Airport Carbon Accreditation (ACA) en los aeropuertos implica abordar tres ámbitos clave: técnico, administrativo y económico, cada uno con desafíos y oportunidades que deben ser considerados cuidadosamente para garantizar una transición eficiente hacia la sostenibilidad.

El ámbito técnico en la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero en aeropuertos se basa en la implementación de sistemas avanzados de monitoreo, como sensores y software especializado, para medir y analizar la emisión de CO₂, CH₄ y N₂O. Esto requiere personal capacitado que pueda interpretar los datos y tomar decisiones informadas. Además, se promueven medidas de eficiencia energética, como la modernización de equipos, la adopción de iluminación LED, sistemas de climatización más eficientes y la transición a vehículos eléctricos. El uso de energías renovables, como paneles solares y

turbinas eólicas, también es clave para reducir la dependencia de fuentes contaminantes. Paralelamente, la gestión de residuos se enfoca en minimizar la generación de desechos y fomentar el reciclaje, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental.

Desde el ámbito administrativo, la certificación ACA exige el desarrollo de políticas y procedimientos alineados con estándares internacionales, como la normativa ISO 14001. Esto implica establecer un sistema de gestión ambiental sólido que permita medir, reportar y verificar las emisiones de GEI. Los aeropuertos deben documentar sus avances, realizar auditorías y publicar reportes de sostenibilidad para garantizar la transparencia. Además, la colaboración con aerolíneas, concesionarios y autoridades es esencial para coordinar estrategias conjuntas de reducción de emisiones, definiendo roles y responsabilidades claras.

En el ámbito económico, uno de los principales retos es la inversión inicial para la instalación de sistemas de monitoreo, la incorporación de energías renovables y la capacitación del personal. Aunque estos costos pueden ser elevados, los beneficios a largo plazo incluyen ahorros en consumo energético y operativos, acceso a incentivos fiscales y financiamiento para proyectos sostenibles. Además, una mayor sostenibilidad mejora la reputación del aeropuerto, atrayendo nuevas aerolíneas, pasajeros comprometidos con el medio ambiente e inversionistas interesados en iniciativas ecológicas. La planificación estratégica es clave para asegurar que estas inversiones sean rentables y sostenibles en el tiempo.

6.3.7 Recomendaciones generales

La implementación de la certificación Airport Carbon Accreditation (ACA) y otras normativas relacionadas con la gestión de emisiones de GEI en los aeropuertos requiere un enfoque estratégico que combine planificación, diseño sostenible y gestión operativa. Este proceso no solo permite reducir la huella de carbono del sector aeroportuario, sino que también posiciona a los aeropuertos como referentes en sostenibilidad y responsabilidad ambiental, alineándose con los compromisos climáticos de Chile y los estándares internacionales.

Para una gestión efectiva de emisiones en aeropuertos, el primer paso es realizar un diagnóstico exhaustivo de las operaciones a nivel nacional. Este análisis permite identificar las principales fuentes de emisiones y establecer objetivos claros y alcanzables, alineados con la certificación ACA y los compromisos climáticos de Chile. Para ello, es crucial definir los límites del sistema y elaborar un inventario detallado de emisiones, considerando tanto las directas como las derivadas del consumo energético. Con esta información, los aeropuertos pueden priorizar acciones y fijar metas concretas con plazos definidos, enmarcadas en el objetivo de alcanzar la carbono neutralidad para 2050.

En cuanto a la infraestructura, el diseño sostenible es esencial para reducir las emisiones a largo plazo. La construcción y remodelación de aeropuertos deben incorporar criterios de eficiencia energética, como el uso de materiales sostenibles, iluminación LED y sistemas de climatización avanzados. Además, la integración de energías renovables, como paneles solares y aerogeneradores, es clave para disminuir la dependencia de fuentes contaminantes. También se debe fomentar la infraestructura verde y azul para mitigar los impactos climáticos y promover la biodiversidad. La adopción de certificaciones internacionales como BREEAM, LEED o CES garantiza la calidad y sostenibilidad de estos proyectos, fortaleciendo la reputación de los aeropuertos en el ámbito internacional.

Durante la operación, la eficiencia y sostenibilidad deben integrarse en un sistema de monitoreo continuo que optimice el uso de recursos como agua y energía sin afectar el servicio aeroportuario. La implementación de normativas internacionales, como ISO 14001 e ISO 50001, proporciona un marco adecuado para la gestión ambiental y energética. Se deben adoptar medidas como el reciclaje de agua, la reducción de residuos y el fomento del transporte sostenible, incluyendo el uso de vehículos eléctricos y transporte público. Estas iniciativas no solo reducen emisiones, sino que también mejoran la experiencia de los usuarios.

Los aeropuertos deben publicar informes anuales de sostenibilidad que reflejen sus avances en reducción de emisiones y otras iniciativas ambientales. Esto fortalece la confianza de la ciudadanía y permite la constante actualización de estrategias para adaptarse a nuevas tecnologías y normativas, asegurando una gestión sostenible a largo plazo.

6.3.8 Propuesta de incorporación de carbono operacional para certificación de aeropuertos mediante certificación de edificio sustentable (CES)

La propuesta para incorporar criterios que permitan disminuir la huella de carbono de la infraestructura aeroportuaria en Chile se basa en la actualización y adaptación de la herramienta de Certificación de Edificio Sustentable (CES) para ser aplicada en el diseño y construcción de proyectos de aeropuertos. Esta adaptación incluye la incorporación y modificación de requerimientos de la certificación CES que permitan disminuir significativamente la huella de carbono de la infraestructura aeroportuaria local y permitir que los operadores de aeropuertos (tanto DGAC como sociedades concesionarias) posean los elementos necesarios para acceder a la acreditación ACA de manera fácil y sin grandes inversiones en infraestructura.

6.3.8.1 MODIFICACIÓN REQUISITO 8 – DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS

El requisito 8 de la certificación CES denominado “Declaración Ambiental de Productos (DAP) para materiales del edificio”, hace referencia a la entrega de información ambiental de los productos o materiales de construcción que se utilizarán en el proyecto mediante fichas DAP (declaración ambiental de productos) o etiquetas de tipo III. Esta información tiene como objetivo promover el uso de materiales y productos con atributos de sustentabilidad y fomentar la competitividad del mercado. Esta información está basada en la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) de acuerdo con los parámetros descritos en la NCh-ISO 14040:2012 y NCh-ISO 14044:2012 con un alcance mínimo “de la cuna a la puerta”.

Para efecto de los objetivos de este informe, se propone modificar el requisito N°8 de la certificación CES y transformarlo en dos requisitos que apunten hacia el carbono contenido de la infraestructura aeroportuaria. Un primer requisito (propuesta 8.1) estará enfocado en la recopilación de información ambiental de los materiales y productos a utilizar en la construcción del edificio; mientras que el segundo requisito (propuesta 8.2) sería la solicitud de un cálculo de carbono contenido en la infraestructura, utilizando como base la misma información declarada en el requisito 8.1, con el fin de darle un uso apropiado a dicha información y promover estrategias de disminución de carbono contenido en la construcción.

La propuesta se basa en 3 cambios que se detallan a continuación:

Transformar el requisito N°8 de la certificación CES en dos requisitos obligatorios con el objetivo de obligar a las empresas a informar las características ambientales de los productos que utilizarán en los proyectos aeroportuarios y del carbono contenido en sus propuestas de proyecto, fomentando el uso de materiales, estrategias y diseños de bajo impacto ambiental y calculados bajo una metodología conocida y de uso internacional. Por lo tanto, este requisito no solamente exigirá la entrega de información ambiental de productos, sino que también exigirá la entrega de un reporte de cálculo de carbono contenido en el proyecto, utilizando como base la misma información declarada a través de las DAP u otro documento válido.

- 1) Entregar como mínimo, la información de los materiales críticos usados comúnmente en la construcción: acero, hormigón, ladrillo, vidrio y CLT, en los cuales se suelen concentrar las emisiones de carbono contenido, como referencia se usan los criterios establecidos en el estándar de construcción Minergie y de acuerdo también con los resultados del cálculo de huella de carbono de la ampliación y mejoramiento del aeropuerto internacional Andrés Sabella de Antofagasta. La información correspondiente a otras categorías de partidas entregará puntaje adicional en la certificación.
- 2) Se propone añadir como documento válido la ficha EPD (environmental product declaration) del producto o material de construcción, siempre y cuando esta se encuentre vigente según la información publicada en la base de datos de The International EPD® System. Se podrán utilizar fichas EPD de otros países siempre y cuando el producto o material no posea ningún documento con su información ambiental en Chile y que las características técnicas de este producto o material coincidan con las especificaciones técnicas del proyecto.

La versión propuesta de estos nuevos requisitos se presenta a continuación:

6.3.8.2 PROPUESTA DE REQUISITO: DECLARACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y MATERIALES DEL EDIFICIO

Tabla 6-12: Encabezado requerimiento Declaración ambiental de productos y materiales de edificio

ARQ. M&R 8.1R	Declaración ambiental de productos y materiales del edificio
Indicador	Entrega de información ambiental de materiales y productos a utilizar en el edificio
Ámbito	Etapa de fabricación de materiales del edificio
Definición	La Declaración Ambiental de Productos (DAP) o Etiquetas de tipo III es una declaración voluntaria basada en el estándar ISO 14025:2012 que entrega información cuantitativa sobre el impacto ambiental de un producto o servicio, con la finalidad de promover distintos atributos de sustentabilidad, además de activar la competitividad del mercado y generar un levantamiento de los potenciales impactos medioambientales de los mismos. Una DAP tiene información basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) cumpliendo con los parámetros de la NCh-ISO 14040:2012 y NCh-ISO 14044:2012 y como mínimo deben cubrir “de la cuna a la puerta”. Para más información ver Apéndice Número 12 del manual CES v1.1
Objetivo	Establecer una base mínima de trazabilidad ambiental sobre materiales críticos en la obra, promoviendo la transparencia ambiental desde la etapa de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

Requerimientos

Para cumplir con este requerimiento como mínimo se debe entregar de manera obligatoria la información de los siguientes materiales: Acero, hormigón, ladrillo, vidrio y madera contra laminada (CLT).

Opción 1: Entregar la información de 10 materiales o productos para la construcción permanentemente instalados que cuenten con una etiqueta ambiental tipo III, Declaración Ambiental de Productos (DAP) o ficha EPD basada en análisis de ciclo de vida según norma UNE-EN-ISO14025, en cualquiera de las siguientes categorías:

- Categoría 1: Fundaciones y cimientos.
- Categoría 2: Muros y estructuras.
- Categoría 3: Tabiquerías y aislación.
- Categoría 4: Ventanas y puertas
- Categoría 5: Cubiertas
- Categoría 6: Terminaciones (interiores y exteriores)

Se podrán utilizar fichas EPD de otros países siempre y cuando el producto o material no posea ningún documento con su información ambiental en Chile y que las características técnicas de este producto o material coincidan con las especificaciones técnicas del proyecto.

Opción 2: Entregar una Declaración Ambiental de Productos o Etiqueta ambiental tipo III o (ISO 14025:2012) para el 1% del Presupuesto de Materiales del edificio. Los materiales considerados en el presupuesto deben ser permanentemente instalados en el edificio, además dentro de este presupuesto se deben excluir gastos generales (GG), utilidades, mano de obra, transporte, moldajes y cualquier otro gasto que no sea de materiales de construcción. Se pueden incluir los materiales que se obtengan a través de subcontratos, excluyendo los mismos elementos anteriormente comentados (gastos generales, utilidades, mano de obra, etc.).

En caso de no existir DAP nacional, se permite el uso de fichas internacionales siempre que la equivalencia técnica sea demostrada.

Condiciones de evaluación y respaldo documental

Para la opción por cantidad de materiales (Opción 1):

Una misma DAP, ficha, etiqueta o caracterización de un material podrá ser utilizada como respaldo para un máximo de dos categorías distintas. No se permitirá el uso de un mismo material para justificar el cumplimiento en más de dos categorías, incluso si el producto tiene aplicaciones múltiples. Se debe incluir al menos un producto con DAP en cada categoría que se postule.

Será obligatorio presentar en la etapa de certificación todas las facturas correspondientes a los materiales declarados con DAP, como medio de respaldo documental que valide su incorporación en obra.

Para la opción por presupuesto (Opción 2):

Se deberá presentar el Presupuesto de Materiales de la Construcción del edificio, desglosado por cada una de las categorías. En este desglose, será necesario declarar la cantidad total de materiales instalados en cada categoría y distinguir de forma explícita cuáles de esos materiales cuentan con una DAP, ficha, etiqueta o caracterización de material y cuáles no. En aquellos casos en que se utilicen distintas variantes de un mismo material —por ejemplo, varias tipologías de barras de acero—, se deberá especificar con claridad cuáles de esas variantes disponen de DAP, diferenciándolas de aquellas que no la poseen.

Además, toda la información entregada debe ser coherente y verificable. Por ello, los nombres de los productos respaldados por DAP, las cantidades señaladas en el presupuesto y los materiales efectivamente utilizados deben coincidir en forma exacta.

Será obligatorio presentar en la etapa de certificación todas las facturas correspondientes a los materiales declarados con DAP, como medio de respaldo documental que valide su incorporación en obra.

6.3.8.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: INTEGRACIÓN DE DAP Y MATERIALES DEL EDIFICIO

Tabla 6-13: Integración de DAP y materiales del edificio

ARQ. M&R 8.1V	Integración de DAP y materiales del edificio
Indicador	Entrega de información ambiental de materiales y productos a utilizar en el edificio
Ámbito	Etapa de fabricación de materiales del edificio
Definición	La Declaración Ambiental de Productos (DAP) o Etiquetas de tipo III es una declaración voluntaria basada en el estándar ISO 14025:2012 que entrega información cuantitativa sobre el impacto ambiental de un producto o servicio, con la finalidad de promover distintos atributos de sustentabilidad, además de activar la competitividad del mercado y generar un levantamiento de los potenciales impactos medioambientales de los mismos. Una DAP tiene información basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) cumpliendo con los parámetros de la NCh-ISO 14040:2012 y NCh-ISO 14044:2012 y como mínimo deben cubrir “de la cuna a la puerta”. Para más información ver Apéndice Número 12 del manual CES v1.1
Objetivo	Incentivar la integración progresiva de productos con información ambiental verificada, más allá de los mínimos obligatorios, promoviendo una cultura de transparencia ambiental en la cadena de suministro.

Fuente: Elaboración Propia

Requerimientos

Opción 1: Entregar la información de materiales o productos para la construcción permanentemente instalados que cuenten con una etiqueta ambiental tipo III, Declaración Ambiental de Productos (DAP) o ficha EPD basada en análisis de ciclo de vida según norma UNE-EN-ISO14025, en cualquiera de las siguientes categorías:

- Categoría 1: Fundaciones y cimientos.

- Categoría 2: Muros y estructuras.
- Categoría 3: Tabiquerías y aislación.
- Categoría 4: Ventanas y puertas
- Categoría 5: Cubiertas
- Categoría 6: Terminaciones (interiores y exteriores)
- Categoría 7: Instalaciones

Se podrán utilizar fichas EPD de otros países siempre y cuando el producto o material no posea ningún documento con su información ambiental en Chile y que las características técnicas de este producto o material coincidan con las especificaciones técnicas del proyecto.

Se utilizará la siguiente escala de puntaje:

Tabla 6-14: Niveles de cumplimiento para integración de DAP opción 1

Nivel	Cantidad de materiales o productos con DAP	Puntaje
Sobresaliente	≥ 20	3
Muy bueno	$15 \leq y \leq 20$	2
Bueno	$11 \leq y \leq 15$	1

Fuente: Elaboración Propia

Opción 2: Entregar una Declaración Ambiental de Productos o Etiqueta ambiental tipo III o (ISO 14025:2012) para el 1% del Presupuesto de Materiales del edificio. Los materiales considerados en el presupuesto deben ser permanentemente instalados en el edificio, además dentro de este presupuesto se deben excluir gastos generales (GG), utilidades, mano de obra, transporte, moldajes y cualquier otro gasto que no sea de materiales de construcción. Se pueden incluir los materiales que se obtengan a través de subcontratos, excluyendo los mismos elementos anteriormente comentados (gastos generales, utilidades, mano de obra, etc.).

En caso de no existir DAP nacional, se permite el uso de fichas internacionales siempre que la equivalencia técnica sea demostrada.

Tabla 6-15: Niveles de cumplimiento para integración DAP opción 2

Nivel	Porcentaje de presupuesto de materiales con DAP	Puntaje
Sobresaliente	$> 10\%$	3
Muy bueno	$5\% < y \leq 10\%$	2
Bueno	$1\% < y \leq 5\%$	1

Fuente: Elaboración Propia

Condiciones de evaluación y respaldo documental

Para la opción por cantidad de materiales (Opción 1):

Una misma DAP, ficha, etiqueta o caracterización de un material podrá ser utilizada como respaldo para un máximo de dos categorías distintas. No se permitirá el uso de un mismo material para justificar el cumplimiento en más de dos categorías, incluso si el producto tiene aplicaciones múltiples. Se debe incluir al menos un producto con DAP en cada categoría que se postule.

Será obligatorio presentar en la etapa de certificación todas las facturas correspondientes a los materiales declarados con DAP, como medio de respaldo documental que valide su incorporación en obra.

Para la opción por presupuesto (Opción 2):

Se deberá presentar el Presupuesto de Materiales de la Construcción del edificio, desglosado por cada una de las categorías. En este desglose, será necesario declarar la cantidad total de materiales instalados en cada categoría y distinguir de forma explícita cuáles de esos materiales cuentan con una DAP, ficha, etiqueta o caracterización de material y cuáles no. En aquellos casos en que se utilicen distintas variantes de un mismo material —por ejemplo, varias tipologías de barras de acero—, se deberá especificar con claridad cuáles de esas variantes disponen de DAP, diferenciándolas de aquellas que no la poseen.

Además, toda la información entregada debe ser coherente y verificable. Por ello, los nombres de los productos respaldados por DAP, las cantidades señaladas en el presupuesto y los materiales efectivamente utilizados deben coincidir en forma exacta.

Será obligatorio presentar en la etapa de certificación todas las facturas correspondientes a los materiales declarados con DAP, como medio de respaldo documental que valide su incorporación en obra.

6.3.8.4 PROPUESTA DE REQUISITO: HUELLA DE CARBONO CONTENIDO DEL EDIFICIO

Tabla 6-16: Encabezado requerimiento Huella de carbono contenido del edificio

ARQ. M&R 8.2	Huella de carbono contenido del edificio	3 puntos
Indicador	Entrega de información ambiental de materiales y productos a utilizar en el edificio	
Ámbito	Etapa de diseño y construcción del edificio	
Definición	La huella de carbono contenido en un edificio hace referencia a la suma de los impactos ambientales que tienen diversos gases de efecto invernadero en la atmósfera generados a partir de la fabricación de los materiales y productos asociados a su construcción, lo cual se expresa en CO ₂ equivalente y su cálculo se basa en la normativa europea EN 15978:2011	
	Este indicador incorpora las etapas de extracción de materias primas, la manufactura de materiales, la energía utilizada, su transporte a obra y su aplicación en la construcción, permitiendo tener una unidad de medida en común para poder sumar y comparar las emisiones de distintos gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono (CO ₂), metano (CH ₄) y óxido nitroso (N ₂ O).	
Objetivo	Incentivar la cuantificación del carbono contenido en infraestructura de uso público y fomentar estrategias para disminuir su carbono contenido	

Fuente: Elaboración Propia

Requerimientos

Determinar las emisiones de CO₂ equivalente asociadas al diseño y construcción del edificio considerando las siguientes categorías descritas en la normativa europea EN 15978:

Tabla 6-17: Etapas y categorías de EN15978

Módulo	Categoría	Sub-Categoría
A1	Etapa de producto	Suministro de materias primas
A2		Transporte a fabrica
A3		Fabricación
A4	Etapa de proceso de construcción	Transporte a obra
A5		Proceso de construcción e instalación

Fuente: Elaboración Propia en base a EN 15978

Los indicadores de impacto ambiental para el cálculo de carbono contenido deberán provenir de la información ambiental de materiales y productos informados en el requisito 8.1 de la certificación CES y las cantidades de cada material y/o producto deberán provenir del presupuesto de construcción del edificio.

6.3.8.5 MODIFICACIÓN REQUISITO 19 – HUELLA DE CARBONO EN OPERACIÓN

El requisito 19 de la certificación CES denominado “Huella de carbono en operación” se define como la reducción de emisiones de CO₂ asociadas al consumo de energía en la operación del edificio, por lo tanto, está directamente relacionada con el alcance 2 del cálculo de la huella de carbono operacional de acuerdo con los lineamientos del GHG Protocol. Este ítem dentro de la certificación CES tiene como objetivo declarar e incentivar el cálculo de la huella de carbono operacional de un edificio mediante la estimación del consumo de energía (eléctrica y combustibles) del edificio mediante cálculo dinámico (denominado también evaluación prestacional dinámica) la cual debe realizarse con un programa de simulación especializado como TAS, DesignBuilder, EnergyPlus, entre otros.

La modificación de este requisito posee 2 cambios:

- 1) Asociar el requisito N°19 de la certificación CES a los créditos de reducción de consumo para calcular el carbono operacional del edificio proyectado y reducir sus emisiones respecto al caso de referencia mediante el cálculo de demanda de energía eléctrica y combustibles de todo el proyecto. La metodología de cálculo seguirá estando definida por los apéndices 8 y 16 del Manual CES 1.1.
- 2) Se establecen distintas escalas de puntaje según el porcentaje de reducción de emisiones de carbono operacional.
 - a. 1 puntos: Reducción de carbono operacional entre un 1% y un 19% respecto al caso de referencia.
 - b. 3 puntos: Reducción de carbono operacional entre un 20% y un 44% respecto al caso de referencia.
 - c. 5 puntos: Reducción de carbono operacional igual o superior a un 45% respecto al caso de referencia.

El requerimiento máximo de reducción de emisiones (igual o superior al 45%), se basa en las recomendaciones establecidas por la ACI en el documento “Airport Carbon Accreditation Application Manual”, en el cual se recomienda dicho porcentaje de reducción de emisiones para el año 2030, a pesar de que la acreditación ACA no exige objetivos mínimos de reducción de emisiones hasta el nivel 4 de acreditación.

Este requerimiento de carácter obligatorio promoverá la reducción de las emisiones de GEI en la etapa de operación de los proyectos aeroportuarios independiente de la organización que lo operen su vida útil, debido a que los criterios de diseño de del proyecto ya estarán orientados a la disminución del carbono operacional de la infraestructura.

La versión propuesta de este nuevo requisito se presenta a continuación:

6.3.8.6 PROPUESTA DE CRÉDITO: HUELLA DE CARBONO EN OPERACIÓN

Tabla 6-18: Encabezado requerimiento Huella de carbono en operación

INST. Energía 19	Huella de carbono en operación	5 puntos
Indicador	Medición y porcentaje [%] de reducción de emisiones de CO ₂ en etapa de operación	
Definición	Estimación y reducción de emisiones de CO ₂ asociadas al consumo anual de energía en la etapa de operación/uso del edificio.	
Objetivo	Declarar e incentivar el uso de la medición de huella de carbono durante la operación de edificios. La reducción de las emisiones durante la etapa de operación contribuye a la incorporación del edificio a la emisión de bonos verdes soberanos.	

Fuente: Elaboración Propia

Requerimientos

Determinar la reducción de las emisiones de CO₂ en base a la comparación de las emisiones generadas durante la operación del edificio de referencia, considerando equipos de referencia y el edificio analizado.

Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Determinar consumo anual de cada tipo de energía (eléctrica y combustibles) para el caso del edificio de referencia, utilizando los equipos de referencia. La estimación del consumo de energía del edificio deberá hacerse mediante cálculo dinámico, según lo definido en el Apéndice 8 del manual CES v1.1.
2. Determinar consumo anual de cada tipo de energía (eléctrica y combustibles) para el caso del edificio analizado (diseño pasivo y diseño activo). La estimación del consumo de energía del edificio deberá hacerse mediante cálculo dinámico, según lo definido en el Apéndice 8 del manual CES v1.1.
3. Determinar para ambos casos, el consumo anual de energía primaria según metodología definida en el Apéndice 16 del manual CES v1.1.
4. Determinar para ambos casos, las emisiones anuales de CO₂ equivalente utilizando los factores de emisiones definidos por los Ministerios de Medio Ambiente y Energía para cada uso final de energía.
5. Determinar el porcentaje de reducción de emisiones para el caso analizado.
6. Se deben instalar sistemas de medición del consumo de electricidad y agua de manera diferenciada.

Se utilizará la siguiente escala de puntaje:

Tabla 6-19: Niveles de cumplimiento para Huella de carbono en operación

Nivel	Reducción de carbono operacional	Puntaje
Sobresaliente	$\geq 40\%$	5
Muy bueno	$20\% \leq y \leq 39\%$	3
Bueno	$1\% \leq y \leq 19\%$	1

Fuente: Elaboración Propia

Condiciones de evaluación: reducción de las emisiones de CO₂

La estimación de la reducción de emisiones de CO₂ equivalente debe realizarse, utilizando como base la estimación de consumo de energía para los distintos usos finales de energía del edificio, según lo definido en el Apéndice 8 del manual CES v1.1, y la estimación del consumo de energía primaria, según lo definido en el Apéndice 16 del manual CES v1.1.

6.4 SUBETAPA 8.1: DESARROLLO ESTUDIO ECONOMÍA CIRCULAR

6.4.1 Objetivos subetapa 8.1

El objetivo de esta subetapa es investigar y evaluar la aplicación de conceptos y prácticas de economía circular en la edificación aeroportuaria e infraestructura horizontal, con el fin de proponer mejoras en la herramienta CES de Aeropuertos.

El estudio se centra en la integración de la economía circular en el diseño y construcción aeroportuaria, abordando varios aspectos clave. En primer lugar, se realiza una revisión de documentos marco, analizando estrategias internacionales y nacionales para identificar brechas y generar recomendaciones. Luego, se estudian proyectos referenciales internacionales, evaluando al menos cinco casos para determinar cómo se mide la aplicación de la economía circular en infraestructura aeroportuaria.

Además, se examinan certificaciones internacionales que incorporan criterios de reutilización de materiales, reciclaje y gestión de residuos, junto con un análisis de sistemas de calificación existentes, como CES, para identificar oportunidades de integración de estrategias circulares. A partir de estos análisis, se desarrolla una propuesta de requisitos para CES, incluyendo al menos ocho nuevos criterios con indicadores, metodologías y escalas de mejora.

6.4.2 Revisión documentación internacional

El Manual de Sistemas Sustentables de Drenaje (SuDS) del Reino Unido proporciona un enfoque integral para la gestión de la escorrentía urbana en superficies impermeables como las que predominan en aeropuertos. Publicado por CIRIA, promueve soluciones como techos verdes, pavimentos permeables y sistemas de recolección de agua para reducir inundaciones y contaminación. Basado en cuatro pilares fundamentales – cantidad y calidad del agua, servicios ecosistémicos y biodiversidad – destaca que los SuDS no solo mitigan impactos ambientales, sino que también convierten el agua de lluvia en un recurso útil, alineándose con los principios de economía circular. El agua recolectada puede reutilizarse en riego, limpieza y enfriamiento de sistemas, aunque el manual no desarrolla en profundidad estos conceptos de circularidad.

Ámsterdam se ha convertido en un referente en economía circular, particularmente en el sector de la construcción. Su Hoja de Ruta de Licitaciones Circulares establece criterios específicos para evaluar proyectos en función del uso eficiente de materiales, la adaptabilidad, la eficiencia energética, la gestión del agua y la biodiversidad. Este enfoque busca garantizar que la infraestructura cumpla con los principios de circularidad, priorizando la reutilización de materiales y la integración de sistemas sostenibles desde el diseño hasta la demolición o renovación. Aunque inicialmente centrado en edificaciones, sus principios pueden aplicarse en infraestructuras aeroportuarias como pistas y plataformas.

El proyecto Building as Material Banks (BAMB) introduce una visión innovadora para la construcción basada en el concepto de edificios como bancos de materiales. A través de un diseño modular, dinámico y reversible, se busca maximizar el valor de los recursos a lo largo del ciclo de vida de las infraestructuras y minimizar los residuos. Uno de los elementos clave de este enfoque es el desarrollo de los Pasaportes de Materiales, documentos que detallan las características de los componentes de una construcción para facilitar su reutilización o reciclaje en el futuro. En el contexto aeroportuario, este modelo puede aplicarse a terminales y edificios anexos, permitiendo que sus materiales sean aprovechados en futuras remodelaciones o nuevas construcciones.

El Informe Conama sobre economía circular en la construcción plantea estrategias para reducir el consumo de recursos, priorizar materiales reciclados y gestionar eficientemente los residuos en todas las etapas del ciclo de vida de una infraestructura. Sus recomendaciones aplicadas a aeropuertos incluyen diseñar edificaciones con criterios de durabilidad y adaptabilidad para evitar la generación de residuos, utilizar materiales locales y reciclados para disminuir la huella de carbono, e implementar sistemas de gestión de residuos que promuevan el reciclaje y la valorización energética. Sin embargo, el informe también señala barreras significativas para la transición hacia la economía circular, como la falta de conocimiento, el financiamiento limitado y la necesidad de una regulación más clara, destacando la importancia de la colaboración entre los distintos actores del sector.

En España, la Estrategia Española de Economía Circular (EEEC) establece un modelo de producción y consumo enfocado en mantener el valor de los materiales el mayor tiempo posible, minimizando la generación de residuos. En línea con el Pacto Verde Europeo y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, la estrategia plantea metas ambiciosas para 2030, como reducir el consumo de materiales en un 30% respecto a 2010, disminuir la generación de residuos en un 15%, incrementar la reutilización al 10% de los residuos municipales, mejorar la eficiencia en el uso del agua en un 10% y reducir las emisiones de GEI por debajo de 10 millones de toneladas de CO₂ equivalente. Estas acciones se centran en sectores clave como la construcción, la industria, el turismo y el sector agroalimentario, promoviendo medidas concretas para el diseño de productos reutilizables, la valorización de residuos y la gestión eficiente del agua.

El Circular Built Environment Playbook, desarrollado por el World Green Building Council, traza una hoja de ruta para la transformación del sector de la construcción hacia un modelo completamente circular. Su visión de largo plazo establece objetivos clave, con una meta para 2030 centrada en la gestión sostenible de recursos, la eliminación de residuos en vertederos y la reducción de emisiones de carbono en materiales. Para 2050, el objetivo es lograr un entorno construido con cero emisiones netas y restauración de recursos naturales. Para alcanzar estos propósitos, el documento recomienda estrategias como la reducción de emisiones en la fabricación de materiales, la implementación de construcción modular y adaptable, el uso de pasaportes de materiales para rastrear y gestionar recursos, y el diseño para desmontaje, reparación y reutilización.

La Guía para el Uso de Materiales Reciclados en Construcción, publicada por IHOBE en 2018, ofrece herramientas prácticas para evaluar y aumentar el uso de materiales reciclados en proyectos de edificación y obra civil. Incluye fichas técnicas con información detallada sobre materiales reciclados y sus aplicaciones, una herramienta de cálculo para medir el porcentaje de materiales reciclados en una obra y criterios para priorizar soluciones que maximicen la reutilización de residuos de construcción y demolición.

El documento Buenas Prácticas en el Uso de Materiales Reciclados en Obra Civil recopila ejemplos exitosos de proyectos que han utilizado materiales reciclados mediante procesos de upcycling. Destacan iniciativas como el uso de escorias de acería y residuos de construcción y demolición como base para nuevas infraestructuras, la colaboración público-privada para el desarrollo de normativas y proyectos demostrativos, y la integración de manuales técnicos y criterios de compra pública verde.

6.4.3 Estudio documentación internacional

La presente sección presenta una revisión de documentos a nivel internacional que abordan la economía circular en el sector de la construcción y su aplicación en distintas escalas y contextos. Se revisan estrategias, guías y estudios técnicos que han sido fundamentales en la promoción de prácticas circulares, así como en el desarrollo de herramientas de evaluación y certificación para proyectos sostenibles.

El propósito de esta revisión es identificar estrategias y metodologías que puedan ser adaptadas e incorporadas en un sistema de certificación nacional, considerando su aplicabilidad e impacto en Chile. Para ello, se han seleccionado documentos de referencia que abordan diversos enfoques, incluyendo sistemas de drenaje urbano sostenible, modelos de licitación circular, experiencias piloto de economía circular en la construcción, así como estrategias nacionales y guías de uso de materiales reciclados.

Entre los documentos analizados se incluyen:

- Ciria report c753 the suds manual v3 (2015) – guía para la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenible (suds) en el reino unido.
- Roadmap circular land tendering, amsterdam (2017) – hoja de ruta para la licitación circular de terrenos en amsterdam.
- Testing bamb results through prototyping and pilot projects, BAMB (2018) – evaluación de resultados del proyecto BAMB mediante prototipos y proyectos piloto.
- Economía circular en el sector de la construcción rumbo al 2030, CONAMA – estudio sobre la transición hacia una construcción circular en el horizonte 2030.

- Estrategia española de economía circular (2020) – plan estratégico de España para fomentar la economía circular en distintos sectores, incluyendo la construcción.
- The circular built environment playbook – world GBC (2023) – guía de estrategias para un entorno construido circular elaborada por el world green building council.
- Guía para el uso de materiales reciclados en construcción – ihobe – documento técnico que proporciona directrices para la incorporación de materiales reciclados en la construcción.

6.4.3.1 CIRIA REPORT C753 THE SUDS MANUAL V3. MANUAL SUDS (UK) (2015)

El manual de la CIRIA es una guía para la implementación de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) en el Reino Unido, con relevancia internacional. Se enfoca en la gestión de la escorrentía de aguas superficiales, que aumenta debido a la urbanización y la reducción de áreas permeables. Los SUDS buscan maximizar los beneficios de la gestión de aguas superficiales, incluyendo la cantidad y calidad del agua, los servicios y la biodiversidad. El manual proporciona información para integrar estos sistemas desde la etapa de diseño urbano e infraestructura. Se destacan medidas como techos verdes, pavimentos permeables y sistemas de biorretención que permiten retener, infiltrar y reutilizar aguas lluvias, promoviendo beneficios ambientales, de biodiversidad y resiliencia ante el cambio climático.

6.4.3.2 ROADMAP CIRCULAR LAND TENDERING, AMSTERDAM (2017)

La hoja de ruta propone criterios de licitación pública orientados a fomentar la construcción circular en la ciudad de Ámsterdam. Define cinco categorías clave de evaluación (materiales, adaptabilidad y resiliencia, agua, energía, ecosistemas y biodiversidad) aplicables al diseño, construcción y operación de edificaciones. Aunque se enfoca en vivienda, sus principios son extrapolables a infraestructura aeroportuaria, incentivando el uso eficiente de recursos, el diseño adaptable y la integración de criterios sostenibles desde la fase de licitación.

La Hoja de Ruta y las licitaciones circulares representan un primer paso en la dirección de la construcción circular, sin embargo, identifican cuatro aspectos importantes que deben abordarse para que alcancen su máximo potencial:

- Innovación y conocimiento: incentivos cualitativos ahora, conocimientos cuantitativos más adelante.
- Refinar y ampliar los criterios.
- Garantizar el potencial circular durante todo el proceso de ordenación del territorio.
- Garantizar el potencial circular durante y después de la fase de uso.

6.4.3.3 TESTING BAMB RESULTS THROUGH PROTOTYPING AND PILOT PROJECTS, BAMB (2018)

El proyecto BAMB (Buildings As Material Banks) promueve la transformación de edificios en depósitos de materiales reutilizables mediante el diseño reversible, el uso de pasaportes de materiales y la construcción modular. La propuesta se basa en la idea de que el valor de los materiales determina si se convierten en residuos o se reciclan, buscando aumentar el uso de materiales y sistemas de construcción valiosos para reducir el desperdicio. A través de pilotos y prototipos en Europa, se evidencian beneficios en la reducción de residuos y el aprovechamiento de recursos. Su enfoque sistemático ofrece oportunidades concretas para aplicar innovaciones circulares en el diseño y operación de terminales aeroportuarios.

6.4.3.4 ECONOMÍA CIRCULAR EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN RUMBO AL 2030, CONAMA

El informe del Congreso Nacional del Medio Ambiente de España identifica estrategias clave para integrar la economía circular en todas las etapas del ciclo de vida de la construcción: prevención, reutilización, reciclaje, valorización y eliminación. Se destaca la necesidad de rediseñar procesos constructivos con materiales duraderos, locales y reciclables. También aborda brechas como la falta de normativas, formación, capacitación, infraestructura y financiamiento, lo cual es relevante para adaptar estos enfoques al contexto chileno en infraestructura aeroportuaria.

También se proponen un conjunto de indicadores para medir la circularidad en el sector de la construcción, incluyendo: Consumo total de energía, Uso de materiales y su impacto ambiental, Gestión de residuos de construcción y demolición.

Contenido reciclado de los materiales de construcción, Posibilidad de reciclado y reutilización de los materiales y productos de construcción, Consumo total de agua, Intensidad de uso de los edificios, Confort interior, consumo total de energía, gestión Uso de materiales y su impacto ambiental, Gestión de residuos de construcción y demolición, Contenido reciclado de los materiales de construcción, Posibilidad de reciclado y reutilización de los materiales y productos de construcción, Consumo total de agua, Intensidad de uso de los edificios, Confort interior.

6.4.3.5 ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE ECONOMÍA CIRCULAR (2020)

La estrategia establece objetivos cuantificables al 2030 en áreas como reducción de residuos (reducir en un 30% el consumo nacional de materiales), uso eficiente del agua (mejorar un 10% la eficiencia en el uso del agua) y consumo de materiales (reducir en un 30% el consumo nacional de materiales), con especial énfasis en sectores prioritarios como la construcción. Define ocho ejes de actuación, cinco de ellas relacionadas con el cierre del círculo: producción, consumo, gestión de residuos, materias primas secundarias y reutilización del agua. Y las tres restantes, con carácter transversal: Sensibilización y participación; Investigación, innovación y competitividad; y Empleo y formación.

6.4.3.6 THE CIRCULAR BUILT ENVIRONMENT PLAYBOOK – WORLD GBC 2023

El documento elaborado por el World Green Building Council plantea un enfoque integral para aplicar principios circulares en todo el ciclo de vida de las edificaciones, desde el diseño hasta la deconstrucción. Incluye estrategias como la fabricación con materiales renovables, construcción modular, mantenimiento eficiente y uso de pasaportes digitales de materiales. La aplicación de principios de economía circular en la construcción y operación de aeropuertos puede mejorar significativamente la sostenibilidad, eficiencia y resiliencia del sector.

Estrategias en el diseño y la construcción modular facilitan la reparación, el mantenimiento y la reutilización de componentes, minimizando el desperdicio y permitiendo la adaptación de infraestructuras a futuras necesidades. Además, una gestión eficiente de recursos y residuos, apoyada por pasaportes digitales de materiales, permite un mejor seguimiento y reutilización al final de su vida útil.

6.4.3.7 GUÍA PARA EL USO DE MATERIALES RECICLADOS EN CONSTRUCCIÓN – IHOBE INTRODUCCIÓN

Esta guía técnica promueve la incorporación de materiales reciclados en proyectos de construcción, proporcionando herramientas prácticas y datos cuantitativos sobre el uso de estos materiales en distintas unidades constructivas. La guía busca apoyar a proyectistas, empresas promotoras y constructoras (y en general a todos los agentes de la cadena de valor del sector de la construcción) en la toma de decisión de los materiales a incorporar a los edificios. En sentido amplio la guía pretende ser un compendio básico, sujeto a continua revisión, que sirva de consulta a todas aquellas personas que decidan evolucionar hacia una mejor gestión de recursos en obra, basándose en la incorporación de materiales procedentes de la valorización de residuos.

6.4.4 Estudio documentación nacional

En esta sección, se analiza la literatura nacional clave en materia de economía circular y sostenibilidad en la construcción, con el objetivo de identificar criterios que contribuyan al cumplimiento de los objetivos estratégicos del país y faciliten la transición hacia un modelo más eficiente y regenerativo en el sector.

El estudio abarca documentos estratégicos como la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 y la Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035. Asimismo, se consideran análisis técnicos relevantes, como las Estrategias de Medición de Impactos Ambientales en el Sector Construcción (Chile GBC, 2023) y el Primer Diagnóstico de Políticas en Chile para el Sector Construcción (Chile GBC, 2022). Finalmente, se revisa la Hoja de Ruta 2022 – 2025 de Construye2025, que define acciones concretas para impulsar la transformación del sector en el corto y mediano plazo.

6.4.4.1 HOJA DE RUTA PARA UN CHILE CIRCULAR AL 2040

La Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 establece la visión y los objetivos estratégicos para la transición hacia una economía circular en el país. Se definen metas a largo plazo, como la reducción de residuos sólidos y la mejora de la

productividad de los materiales, y se identifican habilitantes transversales, como la cultura circular, la innovación, la regulación y el financiamiento. Se proponen estrategias específicas para el sector de la construcción, incluyendo el uso de materiales reciclados y de origen local, la deconstrucción selectiva, la gestión eficiente de residuos y la incorporación de infraestructura verde como techos y muros vegetales.

6.4.4.2 HOJA DE RUTA RCD ECONOMÍA CIRCULAR EN CONSTRUCCIÓN 2035

La Hoja de Ruta RCD Economía Circular en Construcción 2035 se enfoca en la gestión sostenible de los residuos de construcción y demolición (RCD), estableciendo metas y acciones para su prevención, reutilización y reciclaje. Se promueve la valorización de los RCD como recursos, fomentando su uso en nuevas construcciones y obras de infraestructura. Se identifican desafíos y oportunidades para la implementación de la economía circular en la gestión de RCD, incluyendo la necesidad de mejorar la infraestructura, la regulación y la colaboración entre los actores del sector.

6.4.4.3 ESTRATEGIAS DE MEDICIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN – CHILE GBC 2023

Los estudios del Chile Green Building Council (Chile GBC) proponen metodologías para cuantificar el impacto ambiental de los proyectos de construcción, incluyendo herramientas para evaluar la huella de carbono, el consumo de energía y el uso de materiales. Se ofrece un marco técnico útil para medir mejoras en la eficiencia de recursos en proyectos sostenibles, y se analizan estrategias para medir los impactos ambientales en el sector de la construcción, a través del análisis del ciclo de vida (ACV). Para esto, se presentan metodologías y herramientas para la evaluación del ciclo de vida de los edificios, incluyendo las guías del Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) y el Carbon Leadership Forum, que son relevantes para la implementación de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

6.4.4.4 PRIMER DIAGNÓSTICO DE POLÍTICAS EN CHILE SECTOR CONSTRUCCIÓN – CHILE GBC 2022

El "Primer Diagnóstico de Políticas e Instrumentos Normativos en Chile - Sector Construcción" de Chile GBC (2022) analiza exhaustivamente las políticas y normativas relacionadas con la sostenibilidad en el sector de la construcción en Chile. El informe abarca tres áreas principales: Cambio Climático, Economía Circular y Eficiencia Energética, proporcionando un panorama detallado de la situación actual y recomendaciones para el futuro. Este diagnóstico identifica brechas regulatorias, institucionales y técnicas que dificultan la implementación de la economía circular en el sector construcción chileno. Entre los principales desafíos se encuentran la escasa coordinación intersectorial, la falta de incentivos y la limitada trazabilidad de materiales. Se destaca la necesidad de transitar de procesos lineales a circulares, aumentando la eficiencia de los recursos y reduciendo los residuos.

6.4.4.5 HOJA DE RUTA 2022 – 2025 CONSTRUYE 2025

La Hoja de Ruta 2022-2025 del programa Construye 2025 establece un marco estratégico con acciones a corto y mediano plazo para impulsar la sostenibilidad en el sector de la construcción en Chile. Se identifican pilares y ejes transversales que buscan promover la adopción de prácticas circulares, la eficiencia en el uso de recursos y la reducción del impacto ambiental en las diferentes etapas del ciclo de vida de los proyectos de construcción. Propone fomentar la industrialización, la construcción modular, el uso de materiales reciclados y el desarrollo de competencias técnicas.

6.4.5 Estudio casos internacionales de economía circular en aeropuertos

El siguiente análisis presenta un estudio de casos internacionales sobre la implementación de la economía circular en el sector aeroportuario. Se examinan referentes clave en infraestructura aeroportuaria que han integrado estrategias circulares en sus fases de diseño y construcción. La tabla comparativa a continuación detalla las prácticas y enfoques adoptados por cada aeropuerto.

Tabla 6-20: Comparativa de prácticas de economía circular en aeropuertos internacionales

Aeropuerto	Diseño y construcción	Gestión de residuos y economía circular	Eficiencia energética y gestión del agua	Ejemplos concretos y mejores prácticas
Schiphol (Ámsterdam, Países Bajos)	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación de principios de economía circular desde la fase de diseño • Uso de materiales reutilizables y reciclables • Diseño modular • Tecnologías avanzadas para eficiencia energética en el diseño 	<ul style="list-style-type: none"> • Jerarquización de residuos • Asociaciones regionales para reciclar y reutilizar • Reducción de desperdicios alimenticios y gestión de productos electrónicos obsoletos 	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación LED • Captación y reutilización de aguas lluvia • Uso de bombas de calor y paneles solares 	<ul style="list-style-type: none"> • “Luz como servicio”, evitando propiedad de luminarias. • Morgue con certificación BREEAM diseñada para desmontaje y reutilización de materiales • Estacionamientos desmontables y reciclaje del 99% de materiales del P2 • Espigón con certificación LEED Oro
Gardermoen (Oslo, Noruega)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de materiales reciclados y de origen local • Construcción modular • Diseño biofílico con cubiertas ajardinadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa “Zero Waste to Landfill”, con objetivo del 100% de reciclaje y compostaje • Reutilización de materiales de excavación en terraplenes y bermas 	<ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos permeables en pistas de aterrizaje • Sistemas de mantenimiento sostenible con maquinaria eficiente y productos ecológicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminal 2 con techo verde de 12.000 m² • Sistemas de reciclaje y compostaje que permiten recuperar el 95% de los desechos generados.
Arlanda (Estocolmo, Suecia)	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción modular • Uso de materiales de baja huella de carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Programas de reciclaje y compostaje con separación en origen • Estrategias de reutilización de materiales en remodelaciones y ampliaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento térmico optimizado • Aprovechamiento de la luz natural y calefacción geotérmica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminal 4 construida CLT (madera laminada cruzada) para la reducir emisiones de CO2 • Implementación de techos verdes y sistemas de ventilación pasiva
Madrid-Barajas (España)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de material reciclado en renovaciones y nuevas construcciones • Infraestructura verde y jardines verticales 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa “Zero Waste 2040” para minimizar residuos enviados a vertederos • Reutilización del 98% de materiales de demolición en nuevas infraestructuras 	<ul style="list-style-type: none"> • Paneles solares y biogás como fuentes de energía renovable • Sistemas de gestión eficiente del agua en baños e instalaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Renovaciones con certificación LEED • Implementación de iluminación LED y sistemas de climatización optimizados.
LAX (Los Ángeles, EE.UU.)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de materiales reciclados • Construcción modular en áreas estratégicas • Diseño biofílico con jardines en techos 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa integral de separación, reciclaje y compostaje de residuos • Alianzas con proveedores para reducir el uso de plásticos de un solo uso 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de paneles solares y tecnologías de eficiencia energética • Sistemas de captación y reutilización de agua de lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> • Jardín en azotea de 1,4 hectáreas en la Terminal 1 • Estación de reciclaje orgánico que genera biogás a partir de los residuos aeroportuarios
Changi (Singapur)	<ul style="list-style-type: none"> • Arquitectura sostenible con materiales de baja huella de carbono • Diseño biofílico con jardines en techos 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de estaciones de reciclaje y compostaje con una tasa de recuperación superior al 90% • Programa de reutilización de materiales de construcción en obras nuevas 	<ul style="list-style-type: none"> • Captación y reutilización de agua lluvia en riego y mantenimiento • Uso de iluminación LED de alta eficiencia 	<ul style="list-style-type: none"> • Fachada Tiffany & Co fabricada con plástico reciclado • Construcción de pistas de aterrizaje con 50% de hormigón reciclado
El Dorado (Bogotá, Colombia)	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de materiales reciclados y de producción sostenible • Incorporación de diseño bioclimático para maximizar luz y ventilación natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Estación de Clasificación de Residuos (ECA) con certificación Basura Cero Oro • Reutilización de materiales de construcción y alianza con empresas de reciclaje 	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación LED de alta eficiencia y paneles solares • Sistemas de captación y reutilización de agua lluvia 	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de separación en la fuente para mejorar el reciclaje • Implementación de zonas verdes para mejorar la calidad del aire

Fuente: Elaboración propia

El estudio de estos aeropuertos permite extraer lecciones clave para el desarrollo de indicadores aplicables a la certificación CES para aeropuertos en Chile. Se observa que la modularidad es una estrategia recurrente en la mayoría de los aeropuertos analizados, permitiendo flexibilidad y eficiencia en la gestión de espacios. El uso de materiales reciclados y de baja huella de carbono también se presenta como una acción prioritaria, al igual que la optimización en la gestión de residuos para minimizar el impacto ambiental de la infraestructura aeroportuaria.

La Tabla 6-21 resume los principales aeropuertos analizados y las estrategias de circularidad implementadas en cada uno de ellos:

Tabla 6-21: Resumen de casos internacionales consultados

Aeropuerto	Estrategias de Economía Circular					
	Modularidad	Diseño bioclimático	Desmontaje	Materiales reciclados	Materiales baja huella carbono	Gestión de residuos
Schiphol (Ámsterdam)	X		X	X		X
Gardermoen (Noruega)	X			X		X
Arlanda (Suecia)	X				X	X
Madrid (España)	X		X	X		X
Los Ángeles (EEUU)	X			X		
Changi (Singapur)				X	X	X
El Dorado (Colombia)		X		X	X	X

Fuente: Elaboración propia

6.4.6 Estudio certificaciones

Este capítulo presenta una revisión de tres sistemas de certificación relevantes en el ámbito de la construcción sostenible: LEED v4 BD+C, BREEAM y CES V1.1. Se analizan sus criterios, requisitos y créditos relacionados con sostenibilidad, gestión de residuos, selección de materiales, eficiencia en el uso de recursos y otros aspectos clave de la economía circular, como la reutilización de materiales. El estudio compara cómo estas certificaciones, tanto internacionales (LEED y BREEAM) como nacionales (CES V1.1), incorporan principios de economía circular en el sector de la construcción.

6.4.6.1 LEED V4 BD+C

LEED v4 BD+C es un sistema de certificación que establece estándares para la construcción sostenible, con especial enfoque en la gestión eficiente de materiales y recursos. El sistema se compone de prerrequisitos obligatorios y créditos opcionales, ambos diseñados para reducir el impacto ambiental de los edificios durante su construcción y operación. Entre los prerrequisitos se incluyen requisitos como disponer de áreas específicas para el almacenamiento de materiales reciclables como papel, cartón, vidrio, plásticos y metales, así como protocolos para manejar residuos peligrosos. También exige realizar un estudio del flujo de residuos y establecer un plan de gestión con objetivos claros de reciclaje y reutilización para al menos cinco tipos de materiales, además de limitar el uso de sustancias tóxicas como el mercurio.

Los créditos opcionales ofrecen oportunidades para obtener puntos mediante estrategias que van más allá de los requisitos básicos. Estos incentivan prácticas como la reutilización de estructuras existentes, el uso de materiales con menor impacto ambiental certificados mediante Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), y la selección de productos libres de sustancias nocivas. El sistema también premia el diseño de espacios adaptables y la implementación de sistemas avanzados de gestión de residuos que permitan desviar cantidades significativas de materiales de los vertederos. A través de este enfoque integral, LEED v4 BD+C busca promover la construcción de edificios más sostenibles, reduciendo su impacto

ambiental durante todo el ciclo de vida y fomentando la adopción de principios de economía circular en el sector de la construcción

6.4.6.2 BREEAM

BREEAM es un sistema de certificación que evalúa la sostenibilidad de edificaciones mediante créditos que incentivan prácticas responsables. Se enfoca en la eficiencia de recursos, gestión de residuos y reducción del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida del edificio. Entre sus requisitos clave destacan: la gestión sostenible de obras, que incluye monitoreo de consumo energético, agua y residuos; el análisis del coste del ciclo de vida para optimizar diseño y mantenimiento; y el uso de materiales con bajo impacto ambiental, evaluados mediante herramientas como la Declaración Ambiental de Productos y certificaciones de sostenibilidad.

El sistema también prioriza la gestión circular de residuos, exigiendo planes para su reducción y clasificación, fomentando el uso de áridos reciclados y requiriendo espacios para separar residuos urbanos. A través de este enfoque integral, BREEAM promueve edificaciones más eficientes, con menor impacto ambiental y mayor sostenibilidad en todas las fases, desde el diseño hasta la operación.

6.4.6.3 CES V1.1

La certificación CES V1.1 establece estándares para edificaciones sustentables en Chile, combinando requisitos obligatorios y créditos opcionales centrados en la gestión de residuos y materiales sostenibles. Entre los requisitos obligatorios destaca la implementación de un Plan de Gestión de Residuos (basado en la norma NCh3562), que debe incluir identificación de materiales peligrosos, proyección de generación de residuos y sistemas de trazabilidad, además de exigir el registro mensual de residuos por unidad de superficie construida.

El sistema incentiva prácticas sostenibles mediante créditos que premian el uso de materiales con Declaración Ambiental de Producto (DAP), la conservación de estructuras existentes y la implementación de infraestructura para reciclaje durante la operación del edificio. Durante la construcción, exige separar y reciclar al menos el 50% de los residuos donde exista capacidad local, con especial atención al manejo de materiales peligrosos. CES V1.1 busca así minimizar el impacto ambiental de las edificaciones, promoviendo la economía circular en el sector construcción a través de la reducción de residuos, la selección responsable de materiales y sistemas de gestión eficientes a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

6.4.6.4 EVALUACIÓN DE CERTIFICACIONES INTERNACIONALES

Los sistemas de certificación LEED v4 BD+C, BREEAM y CES V1.1, proporcionan un marco para la construcción sustentable, abordando la gestión de materiales, la eficiencia en el uso de recursos y la reducción del impacto ambiental. Se identifican puntos en común, como la promoción de materiales con contenido reciclado, la optimización de residuos de construcción y la gestión responsable del ciclo de vida de los edificios. La certificación CES V1.1, adaptada a la realidad nacional, ofrece oportunidades para incorporar nuevos criterios alineados con la economía circular.

Para evaluar la relación entre los aspectos de economía circular y los diferentes sistemas de certificación, se ha elaborado la Tabla 6-22, que sintetiza los prerrequisitos y créditos existentes en LEED, BREEAM y CES.

Tabla 6-22: Aspectos economía circular y requerimientos asociados

Aspecto de Economía Circular	Prerrequisito o Crédito LEED	Prerrequisito o Crédito BREEAM	Prerrequisito o Crédito CES	Crédito preliminar de Economía Circular para certificación aeropuertos	Objetivo del crédito
Gestión de residuos durante la construcción	Materiales y Recursos (MR): Planificación de la gestión de residuos de construcción y demolición	RSD 1: Gestión de residuos de construcción	CONST. M&R Residuos 10R1: Gestión de residuos - Plan de gestión durante la construcción CONST. M&R 10: Gestión de Residuos: Separación, control y reciclaje	Plan de gestión de residuos de construcción y demolición	Asegurar una correcta gestión y disposición de residuos durante la construcción del aeropuerto.
Separación y reciclaje de residuos	Materiales y Recursos (MR): Gestión de residuos de construcción y demolición	RSD 2: Áridos reciclados RSD 3: Gestión de residuos urbanos	CONST. M&R 10: Gestión de Residuos: Separación, control y reciclaje ARQ. M&R 9: Equipamiento para el Manejo de Residuos durante la operación del edificio	Separación y reciclaje de residuos urbanos	Fomentar la separación y reciclaje de residuos generados por los usuarios del aeropuerto.
Sistemas modulares y desmontables para reutilización futura	Materiales y Recursos (MR): Diseño para flexibilidad	MAT 6: Modularidad y desmontaje	N/A	Implementación de sistemas modulares y desmontables	Fomentar el uso de sistemas modulares que faciliten el desmontaje y la reutilización de componentes en futuras remodelaciones o expansiones.
Reducción de residuos durante la operación	Materiales y Recursos (MR): Almacenamiento y recogida de reciclables	RSD 3: Gestión de residuos urbanos	ARQ. M&R 9: Equipamiento para el Manejo de Residuos durante la operación del edificio	Reducción de residuos operativos	Reducir la generación de residuos mediante prácticas operativas sostenibles y eficientes.
Impactos del ciclo de vida	Materiales y Recursos (MR): Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio Materiales y Recursos (MR): Revelación y optimización de los productos del edificio - declaraciones ambientales de productos	MAT 1: Impactos del ciclo de vida	N/A	Análisis del ciclo de vida de materiales	Evaluar y minimizar el impacto ambiental de los materiales utilizados a lo largo de su ciclo de vida.
Aprovisionamiento responsable de materiales	Materiales y Recursos (MR): Revelación y optimización de los productos del edificio - fuentes de materias primas Materiales y Recursos (MR): Reducción de fuentes de PBT – Mercurio	MAT 3: Aprovisionamiento responsable de materiales MAT 4: Aislamiento	N/A	Aprovisionamiento responsable de materiales	Promover el uso de materiales obtenidos de manera responsable y sostenible.
Flexibilidad y adaptabilidad en el diseño	Materiales y Recursos (MR): Diseño para flexibilidad	GST 5: Coste del ciclo de vida y planificación de la vida útil	N/A	Diseño flexible y adaptable	Fomentar el diseño que permita futuras adaptaciones y cambios en el uso del aeropuerto.

Aspecto de Economía Circular	Prerrequisito o Crédito LEED	Prerrequisito o Crédito BREEAM	Prerrequisito o Crédito CES	Crédito preliminar de Economía Circular para certificación aeropuertos	Objetivo del crédito
Uso de productos reciclados y recuperación de materiales	Materiales y Recursos (MR): Reducción de fuentes de PBT – Mercurio Materiales y Recursos (MR): Reducción de fuentes de PBT – Plomo, cadmio y cobre	MAT 3: Aprovechamiento responsable de materiales MAT 4: Aislamiento RSD 2: Áridos reciclados	N/A	Uso de materiales reciclados	Incentivar la utilización de materiales reciclados y la recuperación de recursos en el aeropuerto.
Reducción de impactos ambientales	Materiales y Recursos (MR): Reducción de fuentes de PBT – Plomo, cadmio y cobre Materiales y Recursos (MR): Reducción de fuentes de PBT – Mercurio	MAT 4: Aislamiento GST 3: Impactos de las zonas de obras	N/A	Reducción de impactos ambientales	Promover la minimización de impactos ambientales a lo largo de las operaciones del aeropuerto.
Pasaporte de materiales y declaración ambiental de materiales	Materiales y Recursos (MR): Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio Materiales y Recursos (MR): Revelación y optimización de los productos del edificio - declaraciones ambientales de productos	MAT 1: Impactos del ciclo de vida MAT 3: Aprovechamiento responsable de materiales	ARQ. M&R 8: Declaración ambiental de productos (DAP) para materiales del edificio	Uso de materiales con pasaporte y/o declaración ambiental de materiales	Facilitar la transparencia y la trazabilidad de los materiales utilizados, promoviendo la selección de productos con bajo impacto ambiental y garantizando su reciclabilidad y reutilización al final de su vida útil.

Fuente: Elaboración propia

6.4.7 Software y herramientas para medir circularidad

La aplicación de principios de economía circular en la construcción requiere herramientas especializadas que permitan evaluar el impacto ambiental de los proyectos, medir su eficiencia en el uso de materiales y facilitar la toma de decisiones basadas en datos. En este capítulo se presentan tres herramientas clave que apoyan la integración de estrategias circulares en el diseño, construcción y gestión de edificaciones: One Click LCA, RE10 Circularidad y el Circular Building Toolkit.

Estas herramientas ofrecen metodologías para cuantificar la huella de carbono, analizar la circularidad de los materiales y promover el diseño adaptable y desmontable. Desde softwares avanzados con integración BIM y certificaciones ambientales, hasta hojas de cálculo accesibles y marcos de buenas prácticas, cada una de estas soluciones permite a los profesionales del sector optimizar sus proyectos y reducir su impacto ambiental. A continuación, se describen sus principales características, funcionalidades y beneficios en la construcción sostenible.

6.4.7.1 ONE CLICK LCA - SOFTWARE

One Click LCA es un software líder en análisis de ciclo de vida (ACV) para proyectos de construcción, que permite evaluar automáticamente impactos ambientales, huella de carbono y costos del ciclo de vida. Compatible con los principales sistemas de certificación sustentable (LEED, BREEAM, DGNB), la herramienta destaca por su base de datos con más de 200,000 puntos verificados y su disponibilidad global en 170 países.

La plataforma ofrece múltiples opciones de ingreso de datos, desde planillas Excel hasta integración con modelos BIM, permitiendo comparar escenarios de diseño para identificar alternativas más sustentables. Especialmente relevante es su capacidad para evaluar la circularidad de los materiales, promoviendo el uso de insumos reciclados/renovables y estrategias de diseño para desmontaje. Entre sus funciones clave destacan el análisis de procedencia de materiales, seguimiento de contenido reciclado, evaluación de fin de vida útil, y la generación de un puntaje de circularidad basado en materiales

recuperados y reutilizados. Con su interfaz intuitiva y reportes detallados, se consolida como una solución integral para la toma de decisiones en proyectos de construcción sostenible y circular.

6.4.7.2 RE10. CIRCULARIDAD. EXCEL DE CÁLCULO GRATUITO.

RE10 Circularidad es una plataforma gratuita diseñada para evaluar la sostenibilidad de proyectos de obra nueva y rehabilitación de edificios, con un enfoque en desmontaje y adaptabilidad. Basada en la norma UNE-ISO 20887, que establece principios y requisitos para la sostenibilidad en edificios, esta herramienta permite medir el grado en que un proyecto cumple con criterios de eficiencia, reutilización, reciclabilidad y estandarización.

El sistema de evaluación de RE10 analiza el proyecto en su conjunto y otorga una calificación según el nivel de cumplimiento de diez criterios clave. La evaluación final clasifica los proyectos en cuatro categorías según el porcentaje de criterios cumplidos: "Falta Puntuación" (0-29%), "Bueno" (30-59%), "Muy Bueno" (60-89%) y "Excelente" (90-100%). La herramienta incluye una hoja de cálculo en Excel, con fichas específicas para la introducción de datos, criterios de intervención, evaluación de resultados y generación de informes en formato PDF.

RE10 permite a los usuarios verificar si las intervenciones cumplen con los criterios de adaptabilidad y desmontaje. Para ello, en algunos criterios se exige solo cumplir con los mínimos establecidos, mientras que en otros se debe alcanzar una puntuación específica. Además, integra un sistema de medición que identifica las fortalezas y áreas de mejora en un proyecto, facilitando la toma de decisiones y la planificación de estrategias sostenibles.

6.4.7.3 CIRCULAR BUILDING TOOLKIT. MARCO DE BUENAS PRÁCTICAS. GRATUITO

El Circular Building Toolkit, desarrollado por ARUP y la Ellen MacArthur Foundation, es un marco de diseño circular que proporciona estrategias y acciones para integrar los principios de la economía circular en proyectos inmobiliarios. Basado en mejores prácticas y políticas internacionales, el toolkit está alineado con las recomendaciones del Consejo Mundial de Construcción Verde y los Consejos Nacionales de Construcción Verde.

El marco se organiza en cuatro objetivos principales: (i) No construir nada, promoviendo la reutilización de infraestructuras existentes; (ii) Construir para generar valor a largo plazo, incentivando el diseño adaptable y desmontable; (iii) Construir eficientemente, optimizando materiales y procesos de construcción; y (iv) Construir con los recursos adecuados, priorizando materiales reciclables y de bajo impacto ambiental.

Cada estrategia cuenta con una ficha detallada que incluye su descripción, indicadores clave de rendimiento, beneficios, desafíos, nivel de impacto y acciones recomendadas para diseñadores y planificadores. Por ejemplo, dentro del objetivo "Construir para generar valor a largo plazo", la estrategia "Diseño para Desmontaje" propone acciones como la reutilización y readaptación de activos existentes, evitar la conversión de naturaleza en suelo urbano y optimizar el uso de espacios infrautilizados.

Este toolkit es un recurso gratuito y en constante actualización, que permite a arquitectos, urbanistas y desarrolladores incorporar principios circulares desde las primeras etapas de un proyecto, asegurando infraestructuras más sostenibles y resilientes.

6.4.8 Propuestas medidas de circularidad a la herramienta CES Aeropuertos

6.4.8.1 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Tabla 6-23: Plan de Gestión Residuos de Construcción y Demolición - Obligatorio

Plan de Gestión Residuos de Construcción y Demolición - Obligatorio	
Indicador	Existencia y calidad del Plan de Gestión de RCD
Ámbito	Proceso de construcción
Definición	Conjunto de acciones, procedimientos y medios utilizados para manejar los residuos, desde su generación hasta su disposición final, incluyendo su recolección, almacenamiento, transporte, valorización y eliminación, de acuerdo con la legislación ambiental vigente y los principios de la jerarquía de gestión de residuos.
Objetivo	Asegurar la gestión sustentable de residuos en obra, a través de la reducción, valorización y adecuada disposición final de los RCD, considerando el principio de jerarquía en el manejo de residuos.

Fuente: Elaboración propia

1. Previo al inicio de la construcción:

El proyecto deberá contar con un Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (PGRCD), en cumplimiento con la NCh 3562:2020. Este plan debe incorporar los siguientes aspectos:

- Diagnóstico inicial de generación de residuos: Identificar y cuantificar los tipos de residuos que se generarán en obra, diferenciando entre residuos valorizables, no valorizables y peligrosos, de acuerdo con las definiciones y clasificaciones de la norma.
- Metas de gestión de residuos: Establecer porcentajes objetivos de valorización, reutilización, reciclaje y disposición final segura. Estas metas deben estar justificadas en función de las características del proyecto, el volumen estimado de RCD y las capacidades de valorización disponibles en el entorno.
- Identificación de flujos de residuos y estrategias de gestión: Definir claramente los flujos de residuos generados en cada etapa (demolición, obra gruesa, terminaciones) y las acciones específicas para su gestión (separación en origen, almacenamiento, transporte, valorización o disposición final).
- Gestores de residuos autorizados: Incorporar en el plan un listado de gestores de residuos autorizados por la SEREMI de Salud o el Ministerio del Medio Ambiente para la valorización, disposición final o tratamiento, incluyendo sus certificados vigentes.

2. Durante la construcción:

- Ejecución del plan de gestión de residuos: Aplicar las medidas definidas en el PGRCD, asegurando la correcta separación, almacenamiento y disposición de los residuos.
- Registro de residuos: Llevar un registro mensual de la cantidad de residuos generados, valorizados y dispuestos, detallados por tipo de residuo (kg o m³), indicando su destino y método de gestión.
- Declaración de residuos: Declarar estos residuos en la plataforma ventanilla única RETC del Ministerio del Medio Ambiente, conforme a lo establecido en el D.S. 1 de 2013 (Coordinación Mandante – Constructora).
- Trazabilidad: Todos los movimientos de residuos deben contar con respaldo documental, incluyendo guías de despacho, certificados de valorización, informes de disposición final y cualquier otro documento exigido por la normativa vigente.

3. Documentación requerida:

- Plan de Gestión de RCD actualizado, conforme a NCh 3562:2020.
- Registros mensuales de generación, valorización y disposición de residuos.
- Certificados de valorización y disposición final emitidos por gestores autorizados.
- Certificado de declaración en la plataforma ventanilla única RETC del Ministerio del Medio Ambiente.
- Informe Final de Gestión de RCD con el cálculo del indicador acumulado.

6.4.8.2 PROPUESTA DE CRÉDITO: VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

Tabla 6-24: Valorización de residuos en etapa de construcción - Voluntario

Valorización de residuos en etapa de construcción - Voluntario	
Indicador	Porcentaje de valorización de residuos en relación con el total de residuos generados (%)
Ámbito	Proceso de construcción
Definición	Corresponde al porcentaje de residuos generados en la obra que han sido valorizados mediante procesos como la reutilización, el reciclaje o su uso como insumo en otras actividades productivas. Este indicador permite cuantificar el grado de aprovechamiento de los residuos y, a la vez, refleja la capacidad del proyecto para anticipar, planificar e implementar estrategias de valorización efectivas, considerando desde el diseño las características de los materiales y las oportunidades que ofrecen la infraestructura existente. Su aplicación busca reducir la disposición final en vertederos, avanzando hacia una infraestructura más sustentable y circular.
Objetivo	Incentivar la consideración anticipada de los materiales en la infraestructura, promoviendo estrategias de valorización desde el diseño y planificación de la obra. Se busca fomentar el aprovechamiento de residuos a través de procesos conocidos en Chile, como la reutilización de materiales, el reciclaje de áridos y metales, y otras formas de valorización que permitan reducir la disposición en vertederos. Este enfoque impulsa una gestión sustentable de los residuos, alineada con las capacidades disponibles en el país y el principio de economía circular.

Fuente: Elaboración propia

1. Previo al inicio de la construcción:

El proyecto deberá presentar una estrategia de valorización de residuos integrada al Plan de Gestión de RCD, conforme a los lineamientos de la Norma Chilena NCh3562 y la Ley REP (Ley N° 20.920). Esta estrategia debe contener:

- Diagnóstico inicial del potencial de valorización: Identificación de los principales flujos de residuos esperados (ej. escombros, metales, madera, plásticos, cartón), y evaluación de su potencial de valorización mediante técnicas como reutilización, reciclaje, co-procesamiento, compostaje, entre otras.
- Metas de valorización: Definición de un porcentaje objetivo de valorización sobre el total de residuos, idealmente igual o superior al 30%. Estas metas deben estar fundamentadas en el tipo de proyecto, partidas constructivas, volumen estimado de generación y capacidades del entorno (infraestructura de valorización y gestores disponibles).
- Identificación de flujos valorizables y vías de valorización: Establecimiento de estrategias concretas para los principales flujos (por ejemplo: reutilización de madera estructural, reciclaje de áridos y metales, recuperación de plásticos y embalajes).
- Gestores autorizados: Registro de gestores de residuos autorizados por la SEREMI de Salud o el Ministerio del Medio

Ambiente para la valorización y disposición final de los RCD.

2. Durante la construcción:

- Implementación y seguimiento de la estrategia: Ejecución del plan de valorización mediante la segregación, acopio y envío diferenciado de los residuos. Registro mensual por tipo de flujo (en kg o m³), detallando destino final y tipo de valorización aplicada.
- Cálculo y reporte del indicador: El indicador se calcula de forma mensual y acumulada como:

$$\text{Porcentaje de valorización de residuos} = \left(\frac{\text{Cantidad de residuos valorizados}}{\text{Cantidad total de residuos generados}} \right) \times 100$$

Este valor deberá consolidarse y presentarse en un informe final de cierre al término de la obra.

- Trazabilidad y respaldo documental: Todo residuo valorizado debe contar con respaldo documental que acredite su trazabilidad y destino final. En el caso de valorización externa, se deberá adjuntar documentación emitida por gestores autorizados, como guías de despacho, certificados de valorización o informes técnicos validados por la autoridad sanitaria o ambiental competente.

En caso de reutilización o valorización dentro de la misma obra, se exigirá un registro técnico interno que incluya, como mínimo:

- Descripción del tipo y cantidad del material valorizado (kg o m³).
- Ubicación y función específica en la obra donde fue reincorporado.
- Fecha y etapa de ejecución.
- Firma del responsable técnico (ITO o jefatura de obra).

Este registro debe ser validado periódicamente como parte del seguimiento del Plan de Gestión de RCD y presentado en el informe de cierre de obra.

3. Documentación requerida:

- Plan de Gestión de Residuos actualizado, incluyendo la estrategia de valorización.
- Registros mensuales de residuos valorizados, con respaldos documentales.
- Informe final de valorización, que incluya el cálculo del indicador acumulado.
- Certificados de valorización de los gestores autorizados o registro interno según sea el caso.

Tabla 6-25: Niveles de cumplimiento para Valorización de residuos en construcción

Nivel	Porcentaje de valorización de residuos	Puntaje
Muy Bueno	>70%	3
Bueno	30 – 69%	2
Aceptable	15 – 29%	1

Fuente: Elaboración Propia

Este indicador busca reducir significativamente la cantidad de residuos que llegan a sitios de disposición final, promoviendo su aprovechamiento en ciclos productivos y fomentando una construcción más responsable y sustentable. Además, permite

dar cumplimiento a la legislación ambiental vigente y avanzar hacia estándares internacionales de gestión de residuos en obras de infraestructura pública.

6.4.8.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: USO DE MATERIALES CON ATRIBUTOS CIRCULARES

Tabla 6-26: Uso de materiales con atributos circulares - Voluntario

Uso de materiales con atributos circulares - Voluntario	
Indicador	Porcentaje de materiales utilizados con atributos circulares respecto del total de materiales (%).
Ámbito	Proceso de diseño y construcción. Este crédito es relevante para todas las áreas funcionales del aeropuerto, desde infraestructura hasta salas de embarque, zonas de check-in, áreas comerciales y técnicas, promoviendo el uso de materiales circulares en diversas fases del proyecto.
Definición	<p>Este indicador mide el rendimiento del proyecto en términos de circularidad material, expresado como el porcentaje de entrada circular, es decir, la proporción de materiales no vírgenes y/o de origen renovable utilizados en relación con el total de materiales empleados en la obra, calculado en función de su masa.</p> <p>Se consideran materiales con atributos circulares aquellos que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proviene de contenido reciclado o reutilizado, • Son de origen renovable con certificación sustentable <p>Este enfoque permite evaluar el desempeño en la etapa de diseño y aprovisionamiento, promoviendo la selección consciente de materiales y la incorporación de principios de economía circular desde el origen del proyecto.</p> <p>Para efectos de este indicador, el "total de materiales" corresponde al 75% de la masa total estimada del proyecto, centrado en los materiales permanentes más significativos: estructura, envoltorio, terminaciones, instalaciones fijas y pavimentos. Se excluyen elementos temporales, equipos móviles y mobiliario no empotrado.</p>
Objetivo	Fomentar la selección de materiales con atributos circulares en infraestructuras aeroportuarias, asegurando su trazabilidad y promoviendo la reducción de impactos ambientales desde el diseño, mediante la incorporación de materiales no vírgenes y/o de origen renovable, en línea con los principios de economía circular.

Fuente: Elaboración propia

1. Durante el desarrollo del diseño del proyecto.

Se deberá especificar al menos un material o sistema constructivo con atributos circulares, fundamentado en alguno de los siguientes principios de economía circular:

a) Componentes y/o materiales valorizables (no vírgenes):

Materiales que incluyen contenido reciclado o reutilizado, provenientes de ciclos previos, con capacidad funcional para ser reincorporados a nuevos usos. Deben contar con respaldo mediante certificaciones reconocidas (ecoetiquetas tipo I, II o III, o Declaraciones Ambientales de Producto – EPD).

b) Materiales de origen renovable:

Materiales provenientes de fuentes naturales renovables, cuya extracción, transformación y uso favorezcan la regeneración de recursos y la conservación del medioambiente. En el caso de la madera, esta debe provenir de fuentes certificadas con manejo sustentable, tales como FSC, SFI o PEFC (CERTFOR en Chile). Los productos deben contar con certificación de Cadena de Custodia (CoC).

No se permitirá el uso de maderas tropicales. Se recomienda seleccionar productos innovadores nacionales, elaborados a partir de materias primas secundarias o renovables, sin tóxicos ni sustancias peligrosas, que permitan un buen comportamiento tanto en su uso como en procesos de deconstrucción o demolición

2. Documentación requerida:

- Fichas técnicas de los materiales y/o productos seleccionados, que respalden su atributo circular, ya sea por contenido reciclado, carácter renovable o bajo impacto toxicológico.
- Hojas de seguridad (MSDS) que justifiquen la ausencia de sustancias peligrosas o riesgosas.
- Memoria técnica que documente los materiales seleccionados, incluyendo sus fichas y fundamentos de elección, considerando su contribución a la economía circular.

Este requerimiento tiene como objetivo incorporar desde el diseño criterios de selección consciente de materiales, promoviendo la sostenibilidad, la salud de los ocupantes y la conservación de los ecosistemas.

Tabla 6-27: Niveles de cumplimiento para uso de materiales con atributos circulares

Nivel	Porcentaje de materiales utilizados con atributos circulares respecto del total de materiales (%)	Puntaje
Muy Bueno	>30%	3
Bueno	15 – 30%	2

Fuente: Elaboración Propia

Condiciones de evaluación

El Porcentaje de materiales utilizados con atributos circulares respecto del total de materiales (%) se expresa mediante el porcentaje de entrada circular total, que corresponde a la proporción de materiales no vírgenes y/o renovables incorporados en la obra, ponderados por su masa.

Este porcentaje refleja la calidad de las decisiones en las etapas de diseño y adquisiciones, alineadas con los principios de la economía circular, y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materiales circulares} = \frac{\sum_{i=1}^n \% \text{ circular}_i \times \text{masa}_i}{\sum_{i=1}^n \text{masa}_i}$$

Donde:

- $\% \text{circular}_i$: Corresponde al porcentaje de contenido circular del material i , considerando únicamente dos fuentes: Contenido reciclado o reutilizado (materiales no vírgenes) y/o Contenido renovable proveniente de fuentes sostenibles certificadas.
- Masa_i : Masa del material i utilizado en el proyecto

Este enfoque permite evaluar el porcentaje total de materiales con atributos circulares respecto del total de materiales especificados, incorporando de forma diferenciada tanto su peso relativo como su aporte efectivo a la circularidad.

Nota: Solo se considerará como entrada circular aquella proporción del material que cuente con respaldo técnico y documental que acredite su atributo circular. Es decir, el porcentaje declarado como reciclado o renovable deberá estar

debidamente verificado mediante fichas técnicas, certificaciones ambientales, declaraciones de contenido reciclado o renovable, o documentos equivalentes. No se considerará circular la masa total del elemento si solo una parte de él cumple con estos atributos.

Para ilustrar el cálculo del indicador, se presenta el siguiente ejemplo simplificado:

Total, de materiales considerados: 75% de la masa total del proyecto, correspondiente a los materiales estructurales y de terminaciones más relevantes. En este ejemplo, se asume un total de 75.000 kg considerados sobre una masa total de 100.000 kg.

Materiales con atributos circulares (con respaldo documental):

- Hormigón estructural con 10% de áridos reciclado:
 - o 30.000 kg de hormigón
 - o 15.000 kg de grava
 - o $15.000 \times 10\% = 150$ kg de árido reciclado
- Acero estructural verde (contenido reciclado 98%): $20.000 \text{ kg} \times 98\% = 19.600 \text{ kg}$
- Paneles de madera certificada FSC: $10.000 \text{ kg} \times 100\% = 10.000 \text{ kg}$

Total, de masa circular acreditada: $150 + 19.600 + 10.000 = 29.750 \text{ kg}$

Indicador de entrada circular: $(29.7500 \text{ kg} / 75.000 \text{ kg}) \times 100 = 40\%$

Documentación exigida para respaldar el indicador:

- Cubicación general del proyecto, con identificación del universo de materiales considerados.
- Fichas técnicas y certificados ambientales de cada material circular (ecoetiquetas tipo I, II o III, DAP, certificados de contenido reciclado o renovable).
- Memoria técnica que detalle el procedimiento de cálculo y justifique la selección de materiales.
- Tabla resumen con el porcentaje de circularidad por material y respaldo documental correspondiente.

Este ejemplo busca orientar la aplicación del indicador y facilitar su verificación en terreno y en procesos de certificación CES.

6.4.8.4 PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO PARA LA ADAPTABILIDAD

Tabla 6-28: Diseño para la adaptabilidad - Voluntario

Diseño para la adaptabilidad - Voluntario	
Indicador	Capacidad del diseño para permitir la adaptación del edificio aeroportuario en sus distintas etapas de uso y operación.
Ámbito	Proceso de diseño, construcción y operación.
Definición	Este indicador evalúa en qué medida el diseño del edificio aeroportuario permite su adaptación a lo largo del tiempo frente a cambios funcionales, tecnológicos, normativos u operacionales. Se basa en el concepto de capas de diseño de Stewart Brand y en el indicador 2.3 de la herramienta europea Level(s), y busca identificar estrategias que faciliten modificaciones futuras sin comprometer la funcionalidad ni generar impactos ambientales o económicos significativos.
Objetivo	Asegurar que el edificio aeroportuario esté preparado para afrontar cambios en su uso o configuración a lo largo de su ciclo de vida, mediante soluciones de diseño que maximicen su flexibilidad y adaptabilidad, minimicen residuos y reduzcan los costos asociados a renovaciones, ampliaciones o ajustes funcionales, en línea con los principios de la construcción circular.

Fuente: Elaboración propia

1. Previo al inicio de la construcción:

El proyecto deberá incorporar una estrategia de adaptabilidad integrada al diseño arquitectónico, estructural y técnico, fundamentada en los principios de economía circular y el marco metodológico de Level(s). Esta estrategia deberá incluir:

a) Diagnóstico inicial de adaptabilidad:

Identificación de zonas y elementos susceptibles de requerir modificaciones futuras, considerando usos previstos y usos aún desconocidos. Debe contemplar:

- Zonas multifuncionales o reconfigurables.
- Ubicación de shafts, ductos, y redes sanitarias/eléctricas con accesibilidad permanente.
- Elementos estructurales modulares o desmontables.

b) Metas de adaptabilidad:

Definición de objetivos cuantificables que permitan evaluar la capacidad de adaptación del edificio, tales como:

- Porcentaje mínimo de superficie diseñada como flexible o modular.
- Alturas libres adecuadas para cambios de uso sin intervención estructural.
- Capacidad de expansión o contracción mediante sistemas desmontables.

c) Estrategias de adaptabilidad:

Identificación y documentación de soluciones específicas para facilitar futuras intervenciones con bajo impacto, incluyendo:

- Tabiques móviles o desmontables.
- Sistemas constructivos reversibles.
- Infraestructura técnica independiente y accesible.
- Espacios configurables según demanda operativa.

d) Revisión documental:

Integración de las soluciones de adaptabilidad en los planos y especificaciones del proyecto, identificando:

- Tipos de adaptabilidad (versatilidad, convertibilidad, expansibilidad).
- Ubicación y características de las soluciones flexibles o reversibles.
- Infraestructura diseñada para facilitar la reconversión funcional.

Para lo anterior se considerará:

Elementos estructurales modulares como aquellos componentes portantes diseñados bajo principios de coordinación dimensional y repetibilidad, compatibles con sistemas constructivos desmontables y adaptables.

Superficie flexible o modula como aquel porcentaje de superficie útil configurada para permitir cambios funcionales sin intervenciones estructurales mayores, mediante soluciones como tabiques móviles, grillas técnicas accesibles y zonas reconfigurables.

Sistema constructivo reversible como aquellos sistemas diseñados para ser desmontados, reutilizados o reciclados, sin deterioro significativo, permitiendo su reincorporación en nuevos ciclos constructivos.

2. Durante la construcción:

Durante la ejecución del proyecto, se deberá garantizar el cumplimiento de las condiciones establecidas en la estrategia de diseño, incluyendo:

- Supervisión técnica de la instalación de sistemas modulares, reconfigurables y accesibles.
- Verificación del cumplimiento de alturas, dimensiones, accesos y montaje de infraestructuras flexibles.
- Registro fotográfico, planos actualizados y actas de revisión técnica que acrediten la implementación efectiva de las soluciones proyectadas.

3. Indicadores de cumplimiento:

Se deberá calcular y reportar el grado de cumplimiento de las metas de adaptabilidad establecidas, mediante el Porcentaje de superficie construida que cumple con criterios de adaptabilidad.

Tabla 6-29: Niveles de cumplimiento para diseño de la adaptabilidad

Nivel	Porcentaje de superficie construida que cumple con criterios de adaptabilidad (%)	Puntaje
Muy Bueno	>50%	3
Bueno	35 - 50%	2
Aceptable	20 – 34%	1

Fuente: Elaboración Propia

4.Documentación requerida:

- Estrategia de adaptabilidad incorporada al proyecto.
- Planos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones, con detalle de zonas adaptables.
- Memoria técnica que describa las soluciones implementadas y sus fundamentos.
- Registros de supervisión y control de obra durante la ejecución.
- Informe final de cumplimiento, con indicadores cuantitativos y trazabilidad documental (planos, fotografías, certificados de montaje, actas de inspección).

6.4.8.5 PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO PARA LA MODULARIDAD

Tabla 6-30: Diseño para la modularidad - Voluntario

Diseño para la modularidad - Voluntario	
Indicador	Porcentaje de componentes o sistemas constructivos diseñados con principios de modularidad (%)
Ámbito	Proceso de diseño y construcción
Definición	Este indicador evalúa la integración de principios de diseño modular en las soluciones arquitectónicas, estructurales y constructivas del proyecto. Se considera modularidad la utilización de sistemas estandarizados y repetibles, compatibles entre sí, que permiten el ensamblaje, desmontaje, sustitución o reutilización de componentes con mínima pérdida de materiales o alteración estructural. Esta estrategia está alineada con los principios de economía circular y el diseño para el desmontaje.
Objetivo	Fomentar que las infraestructuras aeroportuarias incorporen sistemas constructivos modulares que permitan una mayor eficiencia en obra, reducción de pérdidas, posibilidad de ampliaciones o ajustes futuros, y recuperación efectiva de materiales al término de su vida útil, reduciendo la generación de residuos y la demanda de recursos vírgenes.

Fuente: Elaboración propia

1. Etapa de diseño:

El proyecto deberá demostrar la incorporación de un sistema constructivo basado en principios de modularidad y coordinación dimensional, incluyendo:

- Cuadrícula modular espacial y estructural: Definición clara de una cuadrícula base para ordenar la disposición de elementos estructurales, cerramientos y arquitectura interior, facilitando la compatibilidad y repetibilidad.
- Diseño en base a módulos y dimensiones estándar: Uso de medidas normalizadas (módulos base, múltiplos de 300 mm o equivalentes) para minimizar cortes, pérdidas y adaptaciones en obra.
- Compatibilidad entre sistemas: Articulación coherente entre estructuras, revestimientos, instalaciones y componentes arquitectónicos, de forma que se permita su ensamblaje, desmontaje y eventual reutilización sin afectación del conjunto.
- Estrategias de modularidad funcional: Incorporación de componentes prefabricados, preensamblados o desmontables, que optimicen los procesos de transporte, montaje, mantención y posibles actualizaciones.

2. Condiciones de cumplimiento y evaluación:

El grado de cumplimiento se determinará según el porcentaje de sistemas constructivos principales (estructura, envolvente, particiones, instalaciones, mobiliario fijo) que hayan sido diseñados siguiendo principios de modularidad.

Tabla 6-31: Niveles de cumplimiento para diseño de modularidad

Nivel	Porcentaje de superficie construida que cumple con criterios de adaptabilidad (%)	Puntaje
Muy Bueno	>70%	3
Bueno	30 - 69%	2

Fuente: Elaboración Propia

3. Documentación requerida:

- Planos arquitectónicos, estructurales y de especialidades que evidencien el uso de cuadrículas modulares y dimensiones estandarizadas.
- Especificaciones técnicas de los componentes modulares utilizados, indicando su prefabricación, capacidad de desamble y/o ensamblaje.
- Justificación técnica de la selección de materiales o elementos basados en normas industriales o catálogos con medidas estandarizadas.
- Referencia a la normativa aplicable, especialmente la norma NCh3509/1, en lo relativo a diseño para desmontaje, modularidad y aprovechamiento de materiales.
- Memoria técnica que identifique y cuantifique el porcentaje de sistemas constructivos diseñados con principios de modularidad, con respaldo gráfico y explicativo.

Este requerimiento busca optimizar el uso de recursos y promover una lógica de diseño que facilite intervenciones futuras, reduzca residuos y aumente el valor residual de los componentes. La modularidad es además un principio clave para permitir adaptabilidad, desmontaje selectivo y mantenimiento eficiente en infraestructuras críticas como las aeroportuarias.

6.5 SUBETAPA 8.2: DESARROLLO ESTUDIO ECONOMÍA CIRCULAR

6.5.1 Objetivos subetapa 8.2

El objetivo de esta etapa es investigar y plantear una metodología de medición de economía circular aplicable a las etapas de diseño, construcción y operación en proyectos de infraestructura aeroportuaria en Chile. La propuesta busca fomentar un modelo de desarrollo más sostenible, eficiente y resiliente a través de la definición de una serie de indicadores de circularidad.

En el estudio se definen y proponen cinco indicadores de circularidad, siendo éstos el Plan de Gestión de residuos de Construcción y Demolición (RCD), de carácter obligatorio, y otros cuatro voluntarios, tales como la Valorización de residuos en etapa de construcción, el Uso de materiales con atributos circulares, el Diseño para la adaptabilidad y el diseño para la modularidad. Los indicadores mencionados se seleccionan en función de su aplicabilidad técnica, alineación con marcos normativos nacionales e internacionales y su potencial impacto en la reducción de residuos, optimización de recursos y extensión de la vida útil de las infraestructuras.

La aplicabilidad de los indicadores se evalúa mediante el análisis de casos prácticos para el aeropuerto El Tepual y el aeródromo Desierto de Atacama, siendo ambos revisados bajo los criterios técnicos y documentales definidos, permitiendo identificar fortalezas, brechas y oportunidades para la integración efectiva de las medidas circulares en el diseño y ejecución de obras aeroportuarias.

6.5.2 Evaluación casos prácticos

La presente sección expone los resultados obtenidos de la aplicación de los indicadores priorizados de economía circular a dos proyectos aeroportuarios chilenos que han sido recientemente ejecutados: Aeropuerto El Tepual en Puerto Montt y Aeródromo Desierto de Atacama en Copiapó. Ambos proyectos fueron desarrollados bajo altos estándares técnicos y exigencias normativas, y permiten observar en terreno el nivel de avance en materia de sostenibilidad en infraestructura aeroportuaria.

6.5.2.1 RESULTADOS GENERALES DE LA EVALUACIÓN DE CASOS PRÁCTICOS

A partir de la revisión documental y antecedentes técnicos disponibles, se evaluaron los cinco indicadores priorizados para el proyecto del Aeropuerto El Tepual y el Aeródromo Desierto de Atacama. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos para cada uno de ellos. Cabe destacar que el análisis se centra en aspectos verificables desde la documentación a la que se tiene acceso, reconociendo las limitaciones propias de un estudio ex-post.

Tabla 6-32: Resultados de indicadores de economía circular - Aeropuerto El Tepual

Indicador	Tipo	Puntaje Máximo	Resultado El Tepual
Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición	Obligatorio	—	No Cumple
Valorización de residuos en etapa de construcción	Voluntario	3 puntos	0 puntos
Uso de materiales con atributos circulares	Voluntario	3 puntos	0 puntos
Diseño para la adaptabilidad	Voluntario	3 puntos	3 puntos
Diseño para la modularidad	Voluntario	3 puntos	0 puntos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-33: Resultados de indicadores de economía circular - Aeródromo Desierto de Atacama

Indicador	Tipo	Puntaje Máximo	Resultado Desierto de Atacama
Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición	Obligatorio	—	Cumple
Valorización de residuos en etapa de construcción	Voluntario	3 puntos	0 puntos
Uso de materiales con atributos circulares	Voluntario	3 puntos	0 puntos
Diseño para la adaptabilidad	Voluntario	3 puntos	3 puntos
Diseño para la modularidad	Voluntario	3 puntos	0 puntos

Fuente: Elaboración propia

6.5.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los dos casos analizados evidencian que es posible aplicar criterios de economía circular en proyectos aeroportuarios reales, aunque existen diferencias significativas entre los indicadores en cuanto a su nivel de implementación, trazabilidad y disponibilidad de información.

En particular, se concluye que:

- El cumplimiento del Plan de Gestión de RCD varía entre proyectos, siendo necesario estandarizar su exigencia formal en licitaciones futuras.
- La valorización de residuos, aunque considerada en ambos proyectos, no fue cuantificable debido a la falta de datos trazables sobre volúmenes valorizados.
- El uso de materiales con atributos circulares requiere mayor especificidad y trazabilidad documental. A pesar de existir criterios ambientales básicos, no se entregan antecedentes suficientes para aplicar el indicador con la metodología propuesta.
- El diseño para la adaptabilidad fue el único indicador con cumplimiento positivo en ambos casos, mostrando que existen condiciones mínimas implementadas en la práctica, aunque sin abordar aún dimensiones más complejas de flexibilidad programática o la deconstrucción.
- La modularidad no fue considerada explícitamente en ninguno de los proyectos analizados, lo que evidencia una brecha relevante para abordar desde el diseño temprano.

Estos resultados refuerzan la importancia de avanzar hacia una versión específica del sistema CES para infraestructura aeroportuaria, que integre criterios de circularidad de forma progresiva, iniciando con indicadores cuantificables, comprensibles y aplicables por los equipos técnicos actuales. A medida que el ecosistema nacional madure, será clave incorporar también indicadores más exigentes, que integren aspectos como la transformación funcional, la capacidad de

desmontaje y la resiliencia a largo plazo. De esta forma, se contribuirá no solo a la sostenibilidad ambiental, sino también a una infraestructura pública más flexible, duradera y alineada con los objetivos nacionales de economía circular.

6.6 SUBETAPA 9.1: DESARROLLO ESTUDIO DE ESTRATEGIAS INNOVADORAS EN EDIFICACIÓN E INFRAESTRUCTURA SUSTENTABLE

La subetapa 9.1 considera un análisis preliminar de referentes nacionales e internacionales en diversas áreas clave, incluyendo el cambio climático y sus medidas de mitigación y adaptación, la infraestructura verde y azul, la integración de la variable social en certificaciones sustentables, el uso de energías limpias como el hidrógeno verde y la electromovilidad, y la transición hacia modelos de emisiones Net Zero.

En este informe se analizan dos ítems más específicos: el primero aborda el estudio de energías limpias y la estrategia Net Zero, mientras que el segundo profundiza en las temáticas de cambio climático, infraestructura sostenible y la dimensión social, tomando de referencia casos prácticos en el ámbito aeroportuario.

El principal objetivo de este estudio es analizar y proponer metodologías y estrategias innovadoras que puedan ser implementadas en el diseño, construcción y operación de aeropuertos en Chile, asegurando su alineación con los principios de sostenibilidad. Estas metodologías serán adaptadas a la realidad local para fomentar su adopción en futuros proyectos y fortalecer el compromiso con la reducción del impacto ambiental.

En cuanto al alcance del estudio, se investiga al menos un referente nacional y dos internacionales para cada una de las seis áreas clave (Tabla 6-34). A partir de este análisis, se sintetizarán los hallazgos en un informe que explique cómo estas metodologías pueden aplicarse a la infraestructura aeroportuaria chilena. Finalmente, se propone un requerimiento específico para la Certificación de Edificación Sustentable (CES) en cada área, promoviendo así su incorporación en los proyectos aeroportuarios del país.

Tabla 6-34: Aeropuertos analizados por cada subetapa

Aeropuerto	País	H2V	Electromovilidad	Net Zero	Cambio climático	Infraestructura verde y azul	Variable social
Frankfurt	Alemania	x				x	
Hamburgo	Alemania	x					
Stuttgart	Alemania	x					
Bankstown	Australia	x					
Brisbane	Australia	x					
Montreal Trudeau	Canadá	x					
Toronto Pearson	Canadá	x					
Vancouver	Canadá	x					
Arturo Merino Benítez	Chile	x		x	x	x	
Carriel Sur	Chile		x				
Beijing Daxing	China		x				
Faku Caihu	China	x					
Shangai	China	x					
Shangjie	China	x					
Incheon	Corea del Sur	x					
George Bush	EEUU	x					
Hartsfield Jackson	EEUU	x					
Los Ángeles	EEUU	x	x				
O'Hare	EEUU					x	
Chyarlés de Gaulle	Francia	x					
Lyon Saint Exupéry	Francia	x					
Banyuwangi	Indonesia					x	
Kansai	Japón	x					
Tokio Haneda	Japón	x					
Oslo	Noruega		x				

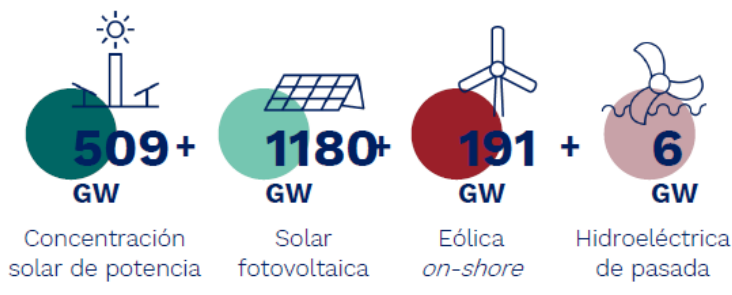
Aeropuerto	País	H2V	Electromovilidad	Net Zero	Cambio climático	Infraestructura verde y azul	Variable social
Wellington	Nueva Zelanda	x					
Schiphol	Países Bajos	x	x	x	x	x	x
Rotterdam La Haya	Países Bajos	x					
Changi	Singapur	x		x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

6.6.1 Energías limpias (hidrógeno verde y electromovilidad)

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, publicada en 2020, busca posicionar a Chile como líder en la producción y exportación de hidrógeno verde, aprovechando su abundante potencial en energías renovables. Este recurso, generado mediante electrólisis con energía renovable, es clave para la descarbonización de sectores como la industria pesada y el transporte. El objetivo central es convertir a Chile en el productor más competitivo de hidrógeno verde para 2030, estableciendo metas de 5 GW de capacidad de electrólisis instalada para 2025 y 25 GW para 2030. Además, se proyecta que el costo de producción baje a menos de 1,5 USD/kg, permitiendo que el hidrógeno verde se transforme en un pilar de exportación y contribuya a la transición energética global.

Figura 6-16: Potencial energético de Chile



1.800+ GW
de potencial energético renovable
que equivalen a 70 veces la demanda de Chile

Fuente: Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

La estrategia se implementa en tres etapas. La primera, hasta 2025, se centra en el desarrollo de proyectos piloto y la creación de un mercado local. La segunda, entre 2025 y 2030, tiene como objetivo escalar la producción y comenzar la exportación en forma de amoníaco y otros derivados. La tercera, a partir de 2030, busca consolidar a Chile como un actor clave en el comercio global de hidrógeno verde. Este combustible permitirá reducir la dependencia de los combustibles fósiles en sectores difíciles de electrificar, como el transporte pesado, la minería y la industria petroquímica. Además, sus derivados, como el amoníaco verde, favorecerán la producción agrícola sostenible, mientras que los combustibles sintéticos ayudarán a reducir la huella de carbono en el transporte marítimo y aéreo.

Chile posee ventajas naturales para la producción de hidrógeno verde, gracias a la alta radiación solar en el norte y los fuertes vientos en el sur, lo que permite la generación de energía renovable a bajo costo. Se estima que esta industria generará alrededor de 100.000 empleos en las próximas décadas, con un impacto económico comparable al de la minería. Sin embargo, uno de los principales desafíos es reducir la brecha de costos entre el hidrógeno verde y los combustibles fósiles. Para ello, se requiere la implementación de mecanismos de financiamiento, políticas de incentivo como un precio al carbono y regulaciones que favorezcan su desarrollo. También es fundamental garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos y establecer un diálogo con las comunidades locales para asegurar que los proyectos se desarrollen de manera justa y equitativa. Si se materializan las inversiones necesarias y se superan los desafíos tecnológicos y regulatorios, Chile podría

consolidarse como un líder en la transición energética global, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones a nivel mundial.

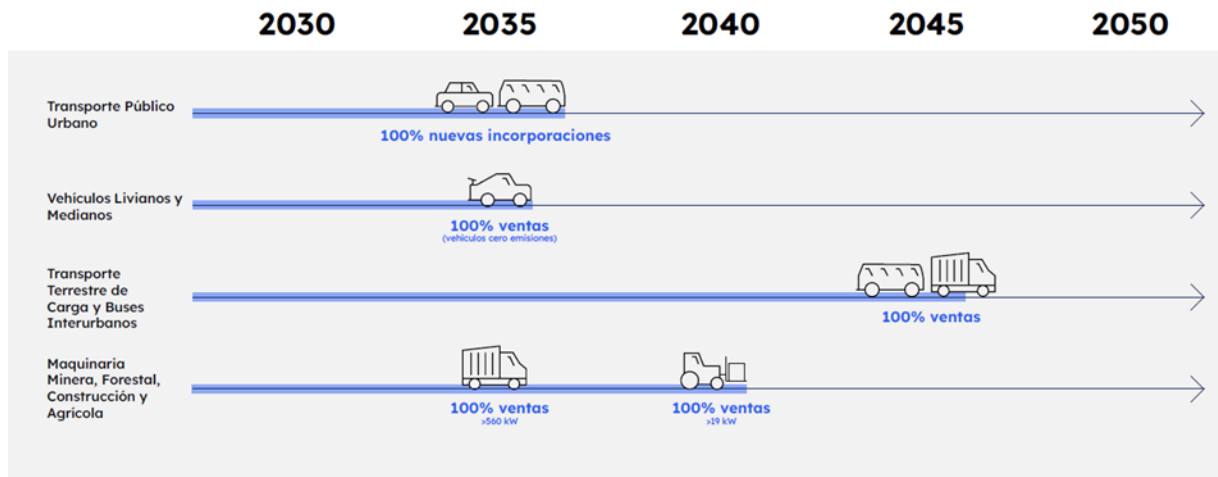
La Estrategia Nacional de Electromovilidad es una iniciativa impulsada por el Ministerio de Energía con el objetivo de acelerar la adopción del transporte eléctrico en Chile, mejorando la calidad del aire, reduciendo emisiones y fortaleciendo la independencia energética del país. Se han establecido metas ambiciosas, como que el 100% de los vehículos nuevos del transporte público urbano sean de cero emisiones para 2035, al igual que todas las ventas de vehículos livianos y medianos. Para 2045, la totalidad de las ventas de transporte de carga y buses interurbanos también deberá estar electrificada, mientras que la maquinaria minera, forestal, de construcción y agrícola alcanzará este objetivo entre 2035 y 2040.

La estrategia se estructura en cuatro ejes fundamentales. El primero se enfoca en el desarrollo de medios de transporte sustentables y el financiamiento de incentivos para la adopción de vehículos eléctricos. El segundo abarca la expansión de la infraestructura de carga eléctrica y la implementación de normativas que garanticen su correcto funcionamiento. El tercero impulsa la formación de capital humano y el desarrollo de una industria nacional de electromovilidad. Finalmente, el cuarto eje busca difundir conocimiento y fomentar la cooperación internacional para fortalecer la movilidad eléctrica en el país.

Entre los beneficios de la electromovilidad destacan la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora en la calidad del aire en las ciudades, la generación de empleos especializados y la disminución de la dependencia de combustibles fósiles importados. Además, la electrificación del transporte contribuirá a la estabilidad y autonomía energética de Chile, al aprovechar su capacidad de generación renovable. Sin embargo, su implementación enfrenta desafíos importantes, como la expansión de la infraestructura de carga, los altos costos iniciales de los vehículos eléctricos y la necesidad de un marco regulatorio sólido que incentive su desarrollo. También es clave que la matriz energética del país continúe descarbonizándose para garantizar que el uso de vehículos eléctricos realmente disminuya las emisiones. Otro reto fundamental es la capacitación y reconversión laboral de trabajadores para adaptarse a las nuevas tecnologías de mantenimiento y operación.

La estrategia contempla un horizonte de acción hasta 2050, con avances progresivos en el corto, mediano y largo plazo. Para 2022, se esperaba un incremento significativo en la flota de vehículos eléctricos en circulación. Para 2035, se proyecta la electrificación total del transporte público urbano y una mayor cobertura de infraestructura de carga en todo el país. A largo plazo, se prevé que la electromovilidad sea una realidad consolidada en todos los sectores del transporte y la maquinaria pesada.

Figura 6-17: Metas para la electromovilidad de Chile



Fuente: Estrategia Nacional de Electromovilidad

6.6.2 Net Zero

Chile ha establecido un conjunto de compromisos climáticos con el objetivo de alcanzar la carbono neutralidad en 2050, abordando tanto la reducción de emisiones como la adaptación al cambio climático y la transición hacia una economía sostenible. Como parte del Acuerdo de París, el país se ha comprometido a limitar el calentamiento global y ha presentado sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC), donde se incluyen medidas clave para la descarbonización. Entre estas destacan el Pilar Social, enfocado en una transición justa que proteja a los sectores más vulnerables; el compromiso de mantener un presupuesto de emisiones de 1.100 MtCO₂eq entre 2020 y 2030, con un pico en 2025; la adaptación climática mediante la creación de planes nacionales y la participación de actores no gubernamentales; y la promoción de la economía circular con la reforestación de 200.000 hectáreas y la implementación de estrategias de residuos orgánicos. Además, se han diseñado medios de implementación que incluyen capacitaciones y transferencia tecnológica para fortalecer la transición hacia un desarrollo bajo en emisiones.

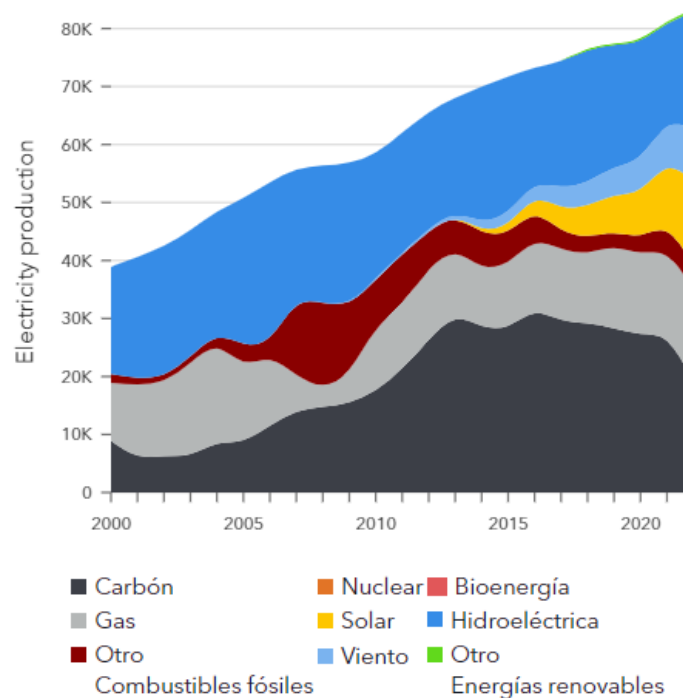
Para consolidar estos compromisos, la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455), promulgada en 2022, establece el marco legal para la neutralidad de carbono, regulando sectores clave y promoviendo planes nacionales de mitigación y adaptación. A esto se suma la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), que impulsa la descarbonización de la matriz energética mediante energías renovables, hidrógeno verde y electromovilidad. En esta línea, la Política Energética Nacional 2050 (PEN) establece que al menos el 65% de la matriz energética sea de bajas emisiones para 2050, impulsando la eficiencia energética y la diversificación de fuentes renovables.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde busca posicionar a Chile como líder en la producción de hidrógeno verde, estableciendo metas de 5 GW de electrólisis para 2025 y 25 GW para 2030, con el fin de reducir costos y consolidarlo como un pilar en la transición energética global. Paralelamente, la Estrategia Nacional de Electromovilidad proyecta que el 100% del transporte público urbano sea eléctrico para 2035, junto con la electrificación progresiva de vehículos livianos, de carga y maquinaria en distintos sectores industriales.

El país también ha impulsado estrategias para la reducción de residuos, con políticas como la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), vigente desde 2016, que fomenta el reciclaje y la reducción de residuos. En 2021, se estableció la Política Nacional de Residuos, promoviendo un enfoque integral de reutilización y reciclaje, mientras que el Plan de Acción Nacional de Economía Circular (2020) busca transformar la economía chilena hacia un modelo más sostenible. Además, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (ENRO) - Chile 2040 propone aumentar la valorización de estos residuos hasta un 66% de reciclaje para 2040, reduciendo significativamente la generación de desechos y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como parte de su compromiso con la eliminación progresiva de los combustibles fósiles, Chile se ha adherido a la Powering Past Coal Alliance, comprometiéndose a cerrar todas sus plantas a carbón para 2030. Actualmente, el país ha cerrado varias centrales y planea retirar el 65% de su capacidad a carbón para 2025. Además, ha firmado el pacto "No New Coal", asegurando que no construirá nuevas plantas de carbón y avanzará en la adopción de energías renovables. Esta estrategia forma parte del Plan de Descarbonización, cuyo propósito es modernizar el sistema eléctrico y reducir las emisiones en al menos un 60% para 2050. Entre sus medidas principales se encuentra la reconversión de centrales termoeléctricas, el fortalecimiento de la infraestructura de energías renovables y la implementación de un modelo de transición justa, garantizando apoyo a las comunidades afectadas por el cierre de las plantas.

Figura 6-18: Generación de electricidad por tipo de combustible a lo largo del tiempo en Chile (Giga watts hora)



Fuente: Bloomberg Coal Countdown

La Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 busca reemplazar el modelo lineal de producción y consumo por uno regenerativo, donde los residuos sean eliminados desde el diseño y se maximice la reutilización de materiales. Entre sus metas destacan la creación de 180.000 empleos verdes para 2040, la reducción en un 25% de la generación de residuos sólidos municipales por habitante, y el aumento de la tasa de reciclaje de residuos municipales al 65%. Para lograrlo, la hoja de ruta se estructura en cuatro ejes: innovación circular, que fomenta modelos de negocio sostenibles; cultura circular, enfocada en transformar hábitos de consumo; regulación circular, que promueve un marco legal favorable; y territorios circulares, que aplican estos principios a nivel local.

6.6.3 Cambio climático – Medidas de adaptación y mitigación

El Acuerdo de París representa un hito en la lucha contra el cambio climático, estableciendo un marco jurídicamente vinculante que compromete a 196 países a limitar el calentamiento global por debajo de los 2°C, con la aspiración de no superar los 1,5°C en comparación con los niveles preindustriales. Adoptado en la COP21 en 2015 y en vigor desde 2016, este acuerdo busca que los países alcancen el pico de sus emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible y avancen hacia la neutralidad climática a mediados de siglo. Su importancia radica en que, por primera vez, todas las naciones se unen bajo un compromiso común para enfrentar el cambio climático mediante acciones ambiciosas de mitigación y adaptación.

El funcionamiento del Acuerdo de París se basa en la mejor ciencia disponible y requiere una transformación profunda de las economías y sociedades. Su implementación sigue un ciclo de cinco años, donde los países presentan planes de acción

climática cada vez más ambiciosos, conocidos como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC). Estos documentos, que comenzaron a entregarse en 2020, describen las estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalecer la resiliencia frente al cambio climático. Además, los países deben desarrollar estrategias a largo plazo que guíen su transición hacia un modelo de desarrollo bajo en emisiones. La COP24, en Katowice (2018), estableció el Libro de Reglas de París, que define el marco normativo para su implementación, mientras que la COP26, en Glasgow (2021), consolidó los mecanismos de revisión y fortaleció el compromiso global con la acción climática.

Un aspecto clave del Acuerdo de París es el apoyo entre países, que se estructura en tres áreas fundamentales: financiamiento, tecnología y fomento de capacidades. En el ámbito financiero, se establece que los países desarrollados deben liderar la provisión de recursos para que las naciones más vulnerables puedan adaptarse al cambio climático y reducir sus emisiones. También se fomenta la participación voluntaria de otros países en este esfuerzo. Respecto a la tecnología, el acuerdo promueve la innovación y la transferencia de conocimientos para fortalecer la resiliencia climática y reducir las emisiones, a través de un mecanismo que acelera la implementación de soluciones tecnológicas. En cuanto al fomento de capacidades, se enfatiza la importancia de apoyar a los países en desarrollo para que puedan responder de manera efectiva a los desafíos climáticos, instando a las naciones desarrolladas a fortalecer este apoyo.

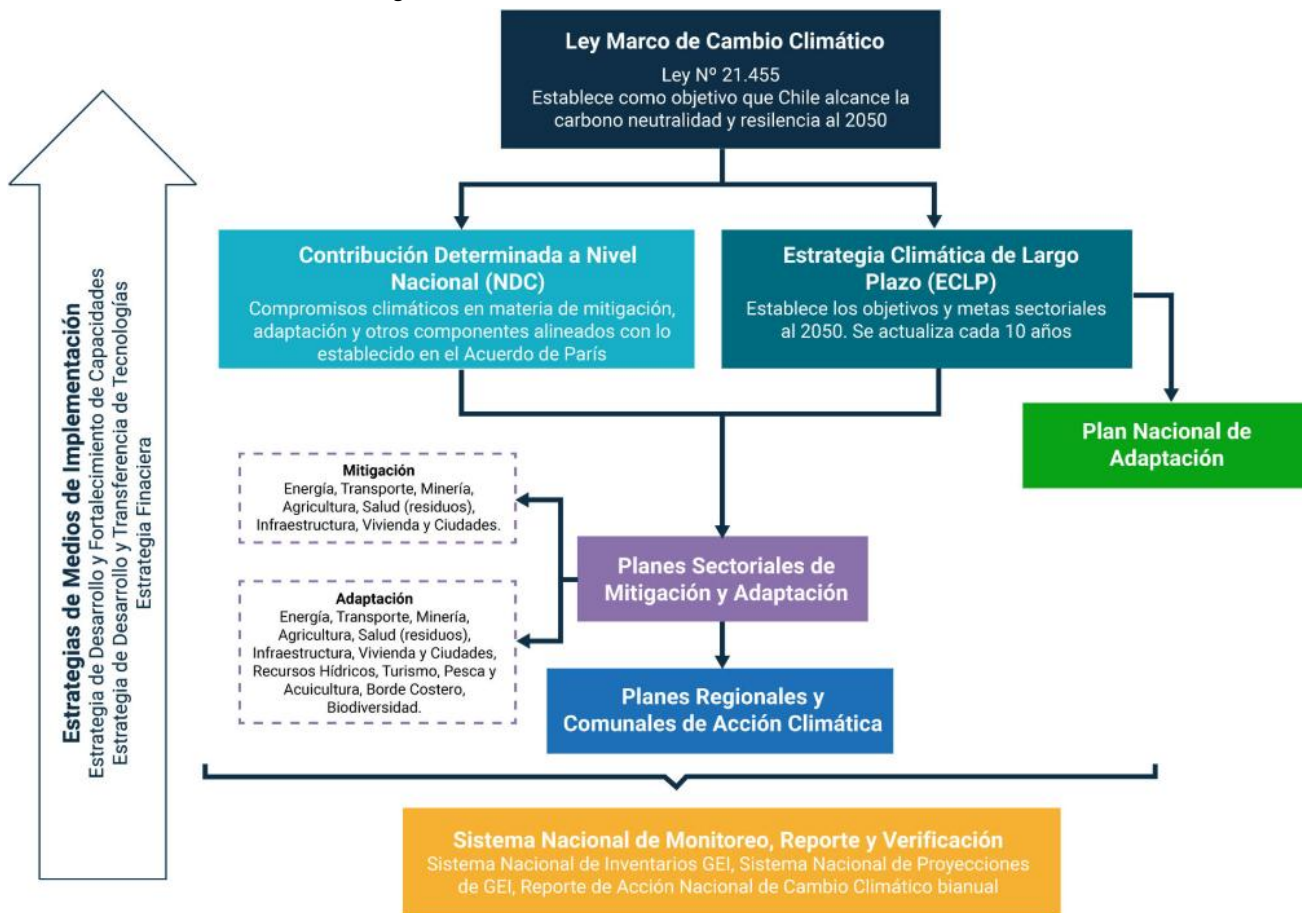
Chile, como parte del Acuerdo de París, presentó su primera Contribución Nacional Tentativa (INDC) en 2015 y, tras un proceso de actualización entre 2017 y 2019, entregó su NDC actualizada en 2020. Esta versión amplió los compromisos en mitigación, adaptación y financiamiento, además de incorporar un Pilar Social orientado a garantizar la justicia climática en la implementación de las políticas nacionales. Posteriormente, en 2022, Chile reforzó su NDC tras la COP26, aumentando su ambición en la reducción de emisiones de metano, promoviendo una transición justa y fortaleciendo la gobernanza climática con la Ley Marco de Cambio Climático.

El Pilar Social de la NDC de Chile busca asegurar que la transición hacia un desarrollo sostenible sea equitativa, protegiendo a los sectores más vulnerables. Para ello, se han establecido medidas como la aplicación de criterios de desarrollo sostenible, la creación de un mecanismo de monitoreo y la elaboración de una Estrategia para la Transición Justa con participación ciudadana activa. En el ámbito de la mitigación, Chile se compromete a un presupuesto de emisiones de gases de efecto invernadero que no supere las 1.100 MtCO₂eq entre 2020 y 2030, alcanzando un pico de emisiones en 2025 y reduciendo sus emisiones a 95 MtCO₂eq para 2030. Además, se compromete a disminuir en al menos un 25% las emisiones de carbono negro respecto a 2016.

En términos de adaptación, Chile ha establecido un conjunto de acciones para fortalecer su resiliencia frente a los impactos del cambio climático. Entre estas medidas se encuentra la definición de metas en la Estrategia Climática de Largo Plazo, la creación de planes sectoriales de adaptación para sectores clave como los recursos hídricos y la biodiversidad, y el fortalecimiento de la capacidad institucional a nivel regional. Además, se han propuesto estudios para evaluar la vulnerabilidad del país y se busca mejorar los sistemas de monitoreo y evaluación de la acción climática.

El componente de integración de la NDC de Chile combina estrategias de mitigación y adaptación. Entre sus compromisos, destaca la elaboración de una Hoja de Ruta de Economía Circular 2020-2040, una Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos y la implementación de métricas para evaluar la circularidad de la economía. También se ha comprometido al manejo sostenible de 200.000 hectáreas de bosques nativos para capturar entre 0,9 y 1,2 MtCO₂eq anuales al 2030, así como a forestar 200.000 hectáreas adicionales, priorizando la plantación de especies nativas. Otros compromisos incluyen la creación de nuevas áreas protegidas, la evaluación del impacto de los ecosistemas marinos en la mitigación climática y la restauración de un millón de hectáreas de paisajes degradados.

Figura 6-19: Vinculación de las NCD con otros instrumentos



Fuente: Ministerio de Medio Ambiente

Por último, el componente de medios de implementación refuerza las capacidades y tecnologías necesarias para enfrentar el cambio climático. Entre sus principales compromisos, Chile desarrollará una Estrategia de Desarrollo de Capacidades y Empoderamiento Climático, implementará una Estrategia de Desarrollo y Transferencia Tecnológica y fortalecerá la Estrategia de Financiamiento Climático.

6.6.4 Infraestructura verde y azul

La Estrategia Nacional de Infraestructura Verde (ENIV) en Chile es una iniciativa clave impulsada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), con el apoyo del Fondo Verde del Clima y la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Su objetivo es promover el desarrollo urbano sostenible a través de la integración de soluciones basadas en la naturaleza (SbN), contribuyendo a mitigar el cambio climático, frenar la pérdida de biodiversidad y reducir la contaminación. Mediante la planificación estratégica de la infraestructura verde, que incluye parques, jardines, techos verdes y bosques urbanos, la estrategia busca mejorar la resiliencia de las ciudades y la calidad de vida de sus habitantes.

Figura 6-20: Firma del acuerdo por la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde



Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo

Además de los beneficios ambientales, la ENIV fortalece la gobernanza y los marcos institucionales necesarios para integrar la infraestructura verde en la planificación urbana. Esto se logrará a través de estudios técnicos y normativos, así como la movilización de recursos nacionales e internacionales para financiar proyectos estratégicos. Como parte de este esfuerzo, la Estrategia de Ciudades Verdes fomenta la participación activa de diversos actores, incluyendo la ciudadanía, el sector privado y el gobierno, para reconfigurar el diseño urbano con un enfoque sostenible y socialmente inclusivo.

La Ley Marco de Cambio Climático establece lineamientos generales para la mitigación y adaptación al cambio climático, aunque no aborda de manera específica la infraestructura verde y azul. Sin embargo, estos conceptos se vinculan directamente con las estrategias de resiliencia climática y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, elementos clave para lograr la neutralidad de carbono al 2050. La infraestructura azul, centrada en la gestión del agua, y la infraestructura verde, enfocada en la vegetación urbana, forman parte de un enfoque integral para reducir la vulnerabilidad climática.

Desde la perspectiva de la adaptación al cambio climático, ambas infraestructuras contribuyen a la reducción de riesgos asociados a fenómenos climáticos extremos. La infraestructura azul mejora la gestión de inundaciones y sequías, mientras que la infraestructura verde ayuda a mitigar las olas de calor y capturar carbono. Su integración en la planificación urbana permite hacer las ciudades más sostenibles, a través de estrategias como drenajes sostenibles, parques urbanos y techos verdes.

El concepto de soluciones basadas en la naturaleza también está explícitamente presente en la ley, dado que ambas infraestructuras buscan replicar procesos ecológicos para hacer más resilientes los entornos urbanos. Al incorporar elementos naturales en el diseño de las ciudades, no solo se fortalecen los ecosistemas, sino que también se generan beneficios adicionales, como la mejora de la biodiversidad y la regulación del ciclo del agua. En este sentido, la conservación y restauración de ecosistemas es un principio fundamental que subyace tanto a la infraestructura verde como a la azul, con el fin de restaurar los ecosistemas degradados y potenciar su capacidad de adaptación climática.

El Fondo Verde para el Clima, establecido en 2010 bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, juega un papel crucial en la financiación de iniciativas de mitigación y adaptación climática en países en desarrollo. Este mecanismo busca movilizar 100 mil millones de dólares anuales hasta 2025 para proyectos que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y fortalezcan la resiliencia climática. En este contexto, Chile ha sido beneficiario de este fondo, destacando un proyecto de reforestación de 63,6 millones de dólares, que contempla la recuperación de más de 25.000 hectáreas de bosque nativo en seis regiones del país.

Este proyecto, ejecutado por la CONAF con el respaldo de la FAO, tiene como meta la gestión sostenible de los bosques, contribuyendo a la reducción de 1.147.800 toneladas de CO₂ y beneficiando a unas 57.000 personas, muchas de ellas en comunidades rurales vulnerables. Además de la reforestación, busca fomentar prácticas de manejo sostenible para combatir la desertificación y la pérdida de biodiversidad. También incluye capacitaciones para las comunidades locales, promoviendo la conservación de los recursos forestales a largo plazo.

6.6.5 Variable social en certificación sustentable

Chile ha avanzado en la incorporación de criterios de sostenibilidad social en sus certificaciones de infraestructura sustentable, pese a la ausencia de compromisos internacionales vinculantes en este ámbito. Este enfoque busca garantizar que los proyectos no solo sean ambientalmente responsables, sino también equitativos y beneficiosos para la comunidad. Existen diversas certificaciones que integran la variable social y pueden ser aplicadas en proyectos en Chile, destacándose entre ellas LEED, BREEAM, Envision, CES, WELL, TRUE Zero Waste y SITES.

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es una de las certificaciones más reconocidas a nivel mundial, desarrollada por el U.S. Green Building Council (USGBC). Inicialmente enfocada en la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, ha evolucionado para incluir aspectos sociales que mejoran la calidad de vida de los ocupantes y la comunidad. LEED v4 y LEED v4.1 incorporan criterios como calidad ambiental interior, ventilación adecuada, confort térmico e iluminación natural, además de promover la equidad social, la accesibilidad y la generación de empleos locales. Ejemplo de su aplicación en infraestructura aeroportuaria es el Aeropuerto Internacional de San Francisco (SFO), donde se implementaron iniciativas de bienestar para empleados y reducción del impacto ambiental.

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), desarrollado en el Reino Unido, es una de las certificaciones más antiguas en construcción sustentable. A diferencia de LEED, BREEAM cuenta con una categoría explícita dedicada a la salud y bienestar, evaluando calidad del aire, ventilación, confort térmico e iluminación natural. También considera el acceso equitativo a edificios y la participación comunitaria. En el Aeropuerto de Heathrow (Terminal 5), su aplicación mejoró la experiencia de pasajeros y empleados con áreas de descanso, zonas verdes y eficiencia energética.

Envision, desarrollada por el Instituto para la Infraestructura Sostenible (ISI) y la Universidad de Harvard, es una certificación integral que evalúa la sostenibilidad de proyectos de infraestructura en tres dimensiones: ambiental, social y económica. Su categoría Calidad de Vida analiza acceso a transporte, empleo local, salud comunitaria y participación ciudadana. En los aeropuertos de San Francisco (SFO) y Dallas Fort Worth (DFW), Envision ha sido utilizada para mejorar la conectividad, minimizar impactos ambientales y fortalecer la participación de la comunidad.

CES (Certificación de Edificio Sustentable) es un sistema chileno voluntario que, si bien no tiene una categoría específica para la variable social, incluye criterios como confort térmico, calidad del ambiente interior y medidas de mitigación de impactos en la comunidad durante la construcción. También fomenta la participación de los usuarios mediante encuestas de satisfacción, promoviendo proyectos socialmente responsables.

WELL, del WELL Building Standard, se enfoca en cómo los espacios construidos impactan en la salud y bienestar de sus ocupantes. A diferencia de otras certificaciones, WELL prioriza aspectos como calidad del aire y agua, luz natural, confort térmico, reducción de ruido y conexión con la naturaleza. Su enfoque en inclusión social garantiza accesibilidad para diversos grupos demográficos y promueve comunidades saludables y seguras.

TRUE Zero Waste incentiva a las organizaciones a reducir la generación de residuos, promoviendo la reutilización y el reciclaje. Para obtener la certificación, una organización debe desviar al menos el 90% de sus residuos de vertederos e incineradoras. Su impacto social radica en fomentar una cultura de sostenibilidad dentro de comunidades y empresas, además de generar empleos en la economía circular, especialmente en reciclaje y reutilización de materiales.

SITES certifica la sostenibilidad en el diseño de paisajes, fomentando la protección de ecosistemas, restauración de hábitats naturales y gestión eficiente del agua. Su enfoque social radica en la creación de espacios verdes accesibles, que mejoran la salud mental y la cohesión comunitaria, además de fortalecer la resiliencia frente al cambio climático. Promueve la inclusión social mediante la creación de espacios equitativos y sostenibles.

6.7 SUBETAPA 9.2: DESARROLLO ESTUDIO DE ENERGÍAS LIMPIAS (HIDRÓGENO VERDE Y ELECTROMOVILIDAD) Y NETZERO, CON APLICACIÓN CASO PRÁCTICO AEROPORTUARIO

6.7.1 Objetivos subetapa 9.2

Desarrollar una investigación sobre referentes nacionales e internacionales de las temáticas o variables declaradas en este documento, respecto de proyectos públicos (recintos de salud, edificios gubernamentales, edificios académicos, entre otros) y de aeropuertos, para luego analizarlos y concluir con propuestas de: metodologías de medición o aplicación, requisitos y metodologías de análisis de riesgo, según corresponda.

6.7.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Revisión Normativa y Comparativa Internacional: Realizar una revisión de la normativa y reglamentación vigente en Chile relacionada con energías limpias. Este análisis permitirá identificar estrategias viables para su implementación y revelar las posibles brechas existentes. Además, se realizará una investigación a nivel internacional, con el objetivo de recopilar información sobre estrategias adoptadas, marcos regulatorios nacionales y sistemas de certificación que servirán como base en la elaboración de la certificación CES para aeropuertos, asegurando estándares factibles y alineados con los compromisos internacionales de sostenibilidad.

Revisión de casos internacionales: Realizar una descripción de casos internacionales a aeropuertos, que destaquen estrategias exitosas de energías limpias. Se espera que la información analizada sirva como punto de partida para adaptar estrategias de sostenibilidad al contexto local de los aeropuertos nacionales, además de evaluar la replicabilidad de las iniciativas exitosas en Chile.

Propuesta de requisitos al sistema de certificación CES para aeropuertos y refugios: Desarrollar propuesta de requerimientos que contendrá indicadores, metodología técnica para análisis y cálculo, valores de referencia, y una escala de niveles con rangos de porcentajes de mejoras correspondientes. Se espera lograr establecer un marco claro y estructurado para medir y mejorar el desempeño en sostenibilidad de la infraestructura aeroportuaria, proporcionando una herramienta integral que facilite el proceso de certificación y fomente mejoras continuas en eficiencia energética, reducción de emisiones y gestión de recursos.

6.7.2 Hidrógeno verde

6.7.2.1 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE SOBRE HIDRÓGENO VERDE EN AEROPUERTOS Y AVIACIÓN

La industria de la aviación, tradicionalmente dependiente de combustibles fósiles, enfrenta un desafío crítico: avanzar hacia la sostenibilidad y reducir su impacto ambiental. En este contexto, el hidrógeno verde emerge como una alternativa prometedora debido a su perfil limpio y ecológico. Sin embargo, su implementación en aeropuertos y aviación presenta retos significativos, especialmente en lo referente a la cadena de suministro.

El proceso para llevar el hidrógeno desde su producción hasta su uso final involucra múltiples etapas: producción, transporte, almacenamiento, distribución y consumo. Este proceso puede desarrollarse externamente (off-site) o dentro de los aeropuertos (on-site), y abarca tecnologías diversas como la gasificación de carbón, la reforma de metano con vapor o la electrólisis alimentada por fuentes renovables (solar, eólica, geotérmica, entre otras).

El transporte del hidrógeno puede realizarse en estado líquido o gaseoso. En su forma gaseosa, se limita al uso de gasoductos, mientras que en estado líquido se abre a opciones como barcos, trenes, camiones cisterna o gasoductos. En los aeropuertos, el hidrógeno se almacena comprimido o licuado, con esta última opción siendo preferida por su mayor densidad energética. Desde allí, sistemas de distribución, como drones, camiones cisterna o pasarelas modificadas, lo llevan a los usuarios finales: aviones, unidades de potencia auxiliar (APU) y equipos de apoyo en tierra (GSE).

El desarrollo de la infraestructura para el hidrógeno en aeropuertos implica desafíos sustanciales en áreas como planificación del uso del suelo, desarrollo de servicios públicos y seguridad. Los aeropuertos deberán construir instalaciones de producción y licuefacción, tanques de almacenamiento y sistemas de reabastecimiento, adaptando sus operaciones a los requerimientos

técnicos del hidrógeno. Además, se necesitarán capacitaciones especializadas y nuevas normativas para garantizar la seguridad.

En los próximos 5 a 10 años, periodo clave para esta transición, se espera que los primeros vuelos comerciales impulsados por hidrógeno comiencen en 2026, con la expansión de aviones de corto alcance entre 2030 y 2035. Para ello, la colaboración entre gobiernos, industria y autoridades de aviación será esencial, no solo para abordar los desafíos técnicos, sino también para garantizar que esta transición se realice de manera eficiente y segura, consolidando el hidrógeno verde como un pilar de la aviación sostenible.

6.7.2.2 ANÁLISIS DEL DOCUMENTO: “EXCELLING IN HYDROGEN, DUTCH TECHNOLOGY FOR A CLIMATE NEUTRAL WORLD”

“Excelling in Hydrogen, Dutch Technology for a Climate Neutral World” describe la estrategia de los Países Bajos para posicionarse como líder en la transición hacia una economía sostenible basada en el hidrógeno verde. Con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática en 2050, el informe, elaborado por la Agencia Empresarial de los Países Bajos (RVO), detalla proyectos innovadores, desafíos y oportunidades que buscan aprovechar la infraestructura energética avanzada y la experiencia tecnológica del país para descarbonizar sectores clave y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Dentro de las estrategias principales que propone el documento son:

- **Producción de Hidrógeno Limpio:** Los Países Bajos priorizan el desarrollo de tecnologías de electrólisis, aumentando la capacidad de producción de hidrógeno verde. Proyectos como el laboratorio Faraday y VoltaChem trabajan en la mejora de electrolizadores eficientes, reduciendo costos y el uso de materiales raros. Esto permite avanzar hacia una alternativa competitiva frente al hidrógeno fósil.
- **Infraestructura de Transporte y Almacenamiento:** Aprovechando su red de gas natural, los Países Bajos adaptan esta infraestructura para transportar y almacenar hidrógeno, empleando cavernas subterráneas y tanques de alta presión para asegurar su distribución. También desarrollan sistemas de transporte innovadores, como portadores líquidos.
- **Aplicaciones del Hidrógeno:** Se fomenta el uso de hidrógeno en sectores industriales, movilidad y energía, destacando combustibles sostenibles para aviación, vehículos pesados y calefacción residencial. Estas iniciativas integran hidrógeno en las redes existentes, reduciendo emisiones de carbono en operaciones clave.

Algunos de sus proyectos insignia incluyen:

- Fuel Cell Giga Factory: Fábrica de celdas de combustible de gran escala.
- PosHYdon: Primera planta marina de electrólisis de hidrogeno.
- Holland Hydrogen I: Planta de producción de 60 toneladas diarias de hidrógeno verde.
- Green Shipping Wadden Sea: Reducción de emisiones marítimas con infraestructura portuaria de hidrógeno.

El documento resalta la importancia de asociaciones internacionales, posicionando a los Países Bajos como un socio clave para países interesados en adoptar tecnologías limpias. Empresas holandesas como Deerns y To70 Aviation ofrecen experiencia en implementación de hidrógeno en sectores como aviación.

El informe sugiere que aeropuertos en Chile podrían integrar estas estrategias para reducir su huella de carbono. Proyectos como la instalación de electrolizadores in situ, almacenamiento subterráneo, estaciones de abastecimiento para aeronaves y vehículos terrestres, y la adopción de combustibles sintéticos sostenibles podrían contribuir significativamente a la sostenibilidad del sector aéreo en el país.

6.7.2.3 RESUMEN DE AEROPUERTOS Y DESARROLLOS VINCULADOS AL HIDRÓGENO

La Tabla 6-35 presenta un resumen de los desarrollos vinculados al uso del hidrógeno en diversos aeropuertos alrededor del mundo. Cada aeropuerto destacado en la tabla ha emprendido iniciativas innovadoras, desde la incorporación de vehículos terrestres impulsados por hidrógeno hasta el desarrollo de infraestructuras de producción y abastecimiento para aviones.

Tabla 6-35: Resumen de desarrollos de H2 en aeropuertos

Nombre del Aeropuerto	Desarrollos vinculados al hidrógeno
Aeropuerto Arturo Merino Benítez, Santiago	Planes para incorporar hidrógeno verde en sus operaciones. Proyecto apoyado por Airbus, incluye infraestructura de producción y abastecimiento de hidrógeno para actividades en tierra, con objetivo de operar con hidrógeno en 2030.
Aeropuerto Schiphol, Ámsterdam	Uso de vehículos de asistencia en tierra impulsados por electricidad o hidrógeno. Pruebas de GPU impulsada por hidrógeno para suministrar electricidad a aviones.
Aeropuerto de Rotterdam La Haya	Colaboración con ZeroAvia para vuelos de cero emisiones con aviones de hidrógeno. Se esperan vuelos comerciales de hidrógeno en 2025.
Aeropuerto de Changi, Singapur	Sustitución de flota terrestre por vehículos eléctricos o de hidrógeno. Estudio en colaboración con Linde, Airbus y CAAS para evaluar infraestructura de hidrógeno, incluyendo producción, almacenamiento y distribución. Desarrollo de tecnología para usar hidrógeno líquido como combustible para aviones.
Aeropuerto Hartsfield-Jackson, Atlanta	Estudio de viabilidad para un hub de hidrógeno en colaboración con Airbus, Delta y Plug Power. Parte del programa "Hydrogen Hub at Airports" de Airbus.
Aeropuerto Intercontinental George Bush	Estudio de viabilidad para un hub de hidrógeno en colaboración con Airbus y Houston Airports. Parte del concepto de Airbus "Hydrogen Hub at Airports".
Aeropuerto Internacional Vancouver	Estudio de viabilidad de infraestructura de hidrógeno en colaboración con Airbus y ZeroAvia. Desarrollo de trenes motrices de hidrógeno para aviones de 10-80 asientos.
Aeropuertos de Suecia y Noruega (Swedavia y Avinor)	Investigación de la viabilidad de infraestructura de hidrógeno para aviones en colaboración con Airbus y Vattenfall. Desarrollo de rutas y aeropuertos para operar aviones de hidrógeno.
Aeropuerto Lyon-Saint Exupéry	Despliegue de estación de distribución de hidrógeno para vehículos terrestres y futura infraestructura para reabastecer aviones con hidrógeno líquido.
Aeropuertos de París (Charles de Gaulle, Orly, Le Bourget)	Inauguración de estaciones de recarga de hidrógeno para taxis y estudio conjunto con GRTgaz para transporte de hidrógeno hacia los aeropuertos. Parte del programa "Hydrogen Hub at Airports".
Aeropuerto de Incheon, Corea del Sur	Conversión de vehículos a hidrógeno, infraestructura de abastecimiento de hidrógeno, y construcción de una estación de repostaje de hidrógeno líquido a gran escala.
Aeropuerto Internacional de Tokio-Haneda	Suministro de hidrógeno por ENEOS, desarrollo de almacenamiento y transporte de hidrógeno. Generación de electricidad en el aeropuerto a partir de hidrógeno.
Aeropuertos de Kansai, Itami y Kobe	Plan para convertirse en "aeropuertos de hidrógeno". Uso de energías renovables para producir hidrógeno y despliegue de vehículos y equipos terrestres impulsados por hidrógeno.
Aeropuerto de Faku Caihu, Shenyang, China	Desarrollo del primer avión chino de combustión interna de hidrógeno con un motor de inyección directa.
Aeropuerto de Shangjie, Zhengzhou, China	Pruebas de un prototipo de avión con sistema de propulsión de pilas de combustible de hidrógeno.
Aeropuerto de Shanghái, China	Proyectos de demostración de energía de hidrógeno, incluyendo construcción de una estación de servicio de hidrógeno y uso de vehículos de pila de combustible de hidrógeno.
Aeropuerto de Hamburgo, Alemania	Conversión de flota a energía de hidrógeno, producción de hidrógeno utilizando excedente de energía eólica, desarrollo de vuelos de hidrógeno en colaboración con Róterdam, y creación del "Hydrogen Aviation Lab" para probar tecnología de hidrógeno en aviación.
Aeropuerto de Stuttgart, Alemania	Creación del Centro de Aviación de Hidrógeno en colaboración con H2FLY para desarrollar y probar tecnologías de hidrógeno en aviación.
Aeropuerto Internacional de Frankfurt	Desarrollo de un hub de hidrógeno, con la implementación de camiones de hidrógeno en el aeropuerto y la creación de infraestructura de repostaje de hidrógeno. También cuenta con la única hidrolinera pública en Hesse.
Aeropuerto Internacional de Wellington	Pruebas para usar hidrógeno en la carga de remolcadores eléctricos y vehículos de servicio, con la participación de Air New Zealand, Toyota New Zealand y Hiringa Energy.

Nombre del Aeropuerto	Desarrollos vinculados al hidrógeno
Aeropuerto de Brisbane, Australia	Asociación con AMSL Aero para introducir hidrógeno como combustible de aviación, pruebas de sistemas de propulsión de hidrógeno para aviones VTOL con el modelo Vertiia. Pruebas de vuelo con hidrógeno planificadas para 2025.
Aeropuerto de Bankstown, Sydney, Australia	Lanzamiento de la Hydrogen Flight Alliance (HFA) para realizar el primer vuelo comercial sin emisiones en 2026, utilizando hidrógeno. Pruebas de aviones demostradores propulsados por hidrógeno en 2024.

Fuente: Elaboración propia

6.7.2.4 REQUISITOS DE ESPACIO PARA INSTALACIONES A HIDRÓGENO EN AEROPUERTOS

La integración de aviones impulsados por hidrógeno en aeropuertos plantea desafíos significativos debido a la falta de preparación de la infraestructura actual. Un estudio de 2023 realizado por Gu, Wieremann y colaboradores destaca que, aunque hay compromiso por parte de los aeropuertos, aún deben realizarse importantes ajustes para permitir operaciones de este tipo. Entre las áreas críticas que requieren adaptación se encuentran el uso del suelo, el desarrollo de infraestructura, los sistemas de seguridad y la capacitación del personal. Además, la industria de la aviación necesitará actualizaciones en los equipos de reabastecimiento y soporte en tierra, además de políticas y regulaciones específicas.

El hidrógeno líquido es más adecuado que el gaseoso por razones de espacio, aunque requiere un volumen cuatro veces mayor que el combustible Jet A-1 para igualar su energía. Los tanques más grandes actuales, como los de la NASA, tienen capacidad para 220 toneladas, suficiente para aproximadamente 200 vuelos de corta distancia o 40-50 vuelos de mediana distancia. Si el hidrógeno se produce in situ o llega en forma gaseosa, se necesitarán unidades de licuefacción que ocupan entre 25 y 300 m² por tonelada de hidrógeno producido.

Las plantas de electrólisis para producir hidrógeno requieren entre 5.000 y 10.000 m² para una capacidad de 50 toneladas diarias, una estimación que apenas ha variado desde estudios realizados en la década de 1970. Un aeropuerto que abastezca 50 toneladas diarias de hidrógeno líquido necesitará aproximadamente 13.000 m² para producción, licuefacción y almacenamiento. En aeropuertos grandes, como el de Sídney, reemplazar el queroseno por hidrógeno podría requerir hasta 1,3 millones de m², equivalente al 15 % de su área total.

6.7.2.5 REQUISITOS DE ESPACIO PARA PLANTAS DE ELECTRÓLISIS (PRODUCCIÓN IN SITU)

En 2023, el National Research Energy Laboratory (NREL) presentó un informe sobre los recursos necesarios para la producción de hidrógeno verde, basado en el proyecto Advanced Clean Energy Storage (ACES) Delta en Utah, EE. UU., considerado el mayor centro de producción y distribución de hidrógeno verde del mundo con tecnología de electrólisis alcalina. Paralelamente, en los Países Bajos, el Instituto para la Tecnología de Procesos Sostenibles (ISPT) lidera el proyecto Hydrohub GigaWatt Scale Electrolyser, enfocado en diseñar instalaciones de electrólisis de agua a escala gigavatio para 2030 y más allá. Aunque estas investigaciones no están destinadas a aeropuertos, ofrecen referencias útiles para estimar los requerimientos de plantas in situ en ese contexto.

Las principales tecnologías de electrólisis incluyen la membrana de electrolito polimérico (PEM), la electrólisis alcalina y la de óxido sólido. La tecnología alcalina es la más madura y rentable a escala industrial. En 2020, el proyecto Hydrohub publicó diseños base para instalaciones de 1 GW que varían en tamaño según la tecnología seleccionada. La tecnología alcalina requiere entre 10 y 17 hectáreas, dependiendo de los componentes y configuraciones específicas. En cambio, la tecnología PEM necesita entre 8 y 13 hectáreas, destacándose por un diseño compacto gracias a sus módulos de alta potencia. En ambos casos, las instalaciones incluyen áreas para electrólisis, compresión y tratamiento de gases, utilidades y acceso operativo.

Figura 6-21: Dimensiones de la planta PEM de producción de hidrógeno, Air Liquide, Becancour, Québec, Canadá. Superficie de planta aproximada: 4 ha. Capacidad de producción: 20 MW, 8,2 toneladas diarias de hidrógeno.



Fuente: Google Earth, 46°22'58"N 72°22'34"W

Las plantas incluyen transformadores y rectificadores para convertir corriente alterna en continua, esenciales para el funcionamiento de los electrolizadores. Los edificios de electrólisis albergan módulos específicos según la tecnología: pilas de 17 MW para alcalina y de 40 MW para PEM. La compresión y el tratamiento de gases implican procesos como desoxidación, secado y presurización. Además, los sistemas de utilidades gestionan el enfriamiento y el tratamiento de agua. En propuestas avanzadas, como las del ISPT para 2030, ambos tipos de tecnología se proyectan en un espacio uniforme de 10 hectáreas, mejorando la eficiencia y el diseño.

El hidrógeno puede almacenarse como gas o líquido. El hidrógeno líquido requiere temperaturas criogénicas y tanques bien aislados, con una superficie de 15 a 19 m² por cada 4 toneladas almacenadas. En su forma gaseosa, el hidrógeno demanda mayores capacidades debido a su baja densidad energética, con un requerimiento de hasta 87 m² por tonelada almacenada. Los trailers tubulares y cilindros compuestos son soluciones móviles comunes, mientras que las tuberías se utilizan para grandes volúmenes en áreas industriales.

Tabla 6-36: Resumen de requerimientos de energía, agua y tierra en proyecto ACES

Elemento	Valor	Descripción
ENERGÍA		
Potencia	50–55 kWh/kg H ₂	Incluye cargas parasitarias
Potencia	220 MW	
Electricidad	5,280 MWh/día	Carga completa 24 horas
	1.93 millones MWh/año	8,760 horas/año
AGUA		
Agua de reacción	9 kg (2.4 gal) H ₂ O/kg H ₂	Estequiométrico para electrólisis
Agua de proceso desmineralizada	11.3 kg (2.9 gal) H ₂ O/kg H ₂	200 gpm de agua desmineralizada
Agua de rechazo de desmineralización	5.6 kg (1.4 gal) H ₂ O/kg H ₂	100 gpm de agua de rechazo
Agua total sin tratar para todos los usos de la planta	26.5 kg (6.9 gal) H ₂ O/kg H ₂	468 gpm (755 acres-pie)
TERRENO		
Equipo de proceso y auxiliares	388,500 m ²	Incluye espacio auxiliar de la fase 2
Laguna de aguas residuales	64,750 m ²	Laguna de evaporación revestida
Corredores de servicios	323,750 m ²	De 30 a 90 metros de ancho
Caminos de acceso	182,250 m ²	15 metros de ancho

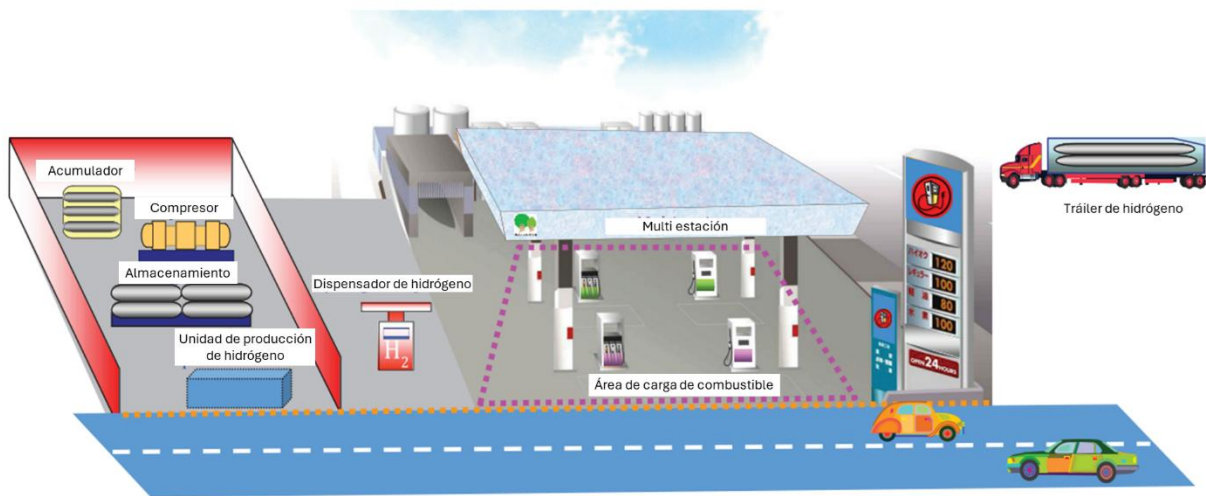
Fuente: Elaboración propia en base a NREL (2023).

6.7.2.6 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO PARA HIDROLINERAS

Las hidrolineras, o estaciones de servicio de hidrógeno, tienen componentes específicos cuyo diseño y disposición están regulados por normas internacionales como la ISO 19880-1:2020. Esta norma detalla el proceso completo de suministro, almacenamiento y distribución de hidrógeno, desde los recursos iniciales (agua, electricidad y gas natural) hasta su entrega a vehículos. El hidrógeno puede generarse mediante electrólisis o procesamiento de combustibles, almacenarse como gas en sistemas de baja presión o líquido en tanques subterráneos o en superficie, y luego comprimirse, enfriarse o vaporizarse antes de su distribución en dispensadores de alta presión.

El diseño incluye sistemas de compresión para elevar la presión del hidrógeno y tecnologías complementarias como bombas criogénicas e intercambiadores de calor para tratar hidrógeno líquido. Estas configuraciones aseguran que el hidrógeno esté disponible en las condiciones necesarias para su uso final.

Figura 6-22: Ejemplo de hidrolinera, según la norma ISO 19880-1:2020



Fuente: ISO 19880-1:2020. Gaseous hydrogen — Fuelling stations — Part 1: General requirements

El Código de Prácticas para Estaciones de Servicio de Hidrógeno del EMSD del Gobierno de Hong Kong (2024) establece directrices técnicas específicas para garantizar la seguridad y eficiencia en el diseño y operación de hidrolineras. Este código sugiere un tamaño mínimo de 750 m² para una estación de servicio fija y detalla las distancias mínimas de separación respecto a edificios y elementos adyacentes. Por ejemplo, las hidrolineras deben estar alejadas de líneas eléctricas aéreas al menos 1,5 veces la altura del poste, y mantenerse a 25 m de zonas residenciales de baja densidad y a 50 m de hospitales o edificios educativos.

Dentro del límite de la estación, se establecen distancias de seguridad entre los equipos principales, como el almacenamiento, los compresores, los dispensadores y las instalaciones de descarga, para minimizar riesgos. La ubicación de estas estaciones debe garantizar un acceso seguro desde carreteras principales y evitar áreas densamente pobladas.

Tabla 6-37: Distancias mínimas recomendadas en hidrolineras, con elementos externos

Uso de suelo	Distancia mínima recomendada de cualquier almacenamiento de hidrógeno / compresor/ tubería de ventilación / dispensador
Residencial de baja densidad/ Vivienda incidental/ Comercial/ Industrial/ Recreativo	25 m
Residencial de gran altura/ Educativo/ Hospital	50 m

Fuente: Código de Prácticas para Estaciones de Servicio de Hidrógeno del EMSD del Gobierno de Hong Kong, 2024.

Distancias mínimas de distribución de equipos dentro del límite de la estación de servicio de hidrógeno:

Tabla 6-38: Distancias mínimas recomendadas en hidrolineras, entre elementos internos

Equipo	Almacenamiento de Hidrógeno	Tubería de Ventilación de Hidrógeno	Compresor de Hidrógeno	Dispensador de Hidrógeno	Instalación de Descarga de Hidrógeno
Almacenamiento de Hidrógeno	-	Nil	Nil	Nil	Nil
Tubería de Ventilación	Nil	-	Nil	Nil	6 m
Compresor de Hidrógeno	Nil	Nil	-	Nil	Nil
Dispensador de Hidrógeno	Nil	Nil	Nil	-	Nil
Instalación de Descarga	Nil	6 m	Nil	Nil	-
Dispensador de GLP/ Gasolina/ Diesel	Nil	Nil	Nil	4 m	Nil
Instalaciones de Carga EV/ Fuente de Ignición / Límite del Sitio	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m

Fuente: Código de Prácticas para Estaciones de Servicio de Hidrógeno del EMSD del Gobierno de Hong Kong, 2024.

6.7.2.7 NORMATIVA ASOCIADA AL USO DE HIDRÓGENO EN AEROPUERTOS

En Chile, el marco normativo sobre el uso de hidrógeno está en desarrollo, pero carece de disposiciones específicas para aviación. El Decreto N° 13 del Ministerio de Energía, promulgado en 2024, regula las instalaciones de hidrógeno como recurso energético, abarcando desde el diseño hasta el cierre de instalaciones. Este reglamento, aunque no específico para aeropuertos, establece requisitos clave para garantizar la seguridad en actividades relacionadas con el hidrógeno, promoviendo prácticas de ingeniería internacionalmente reconocidas. Entre los aspectos regulados, destacan los sistemas de detección de fugas, protección contra incendios y ventilación, además de medidas rigurosas para la construcción, operación, mantenimiento y modificaciones de instalaciones.

A nivel internacional, la reglamentación específica sobre hidrógeno en aviación también está en una etapa inicial. La Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) ha mostrado interés en el hidrógeno como combustible sostenible, promoviendo estudios y apoyando investigaciones internacionales, aunque sin normativas concretas. En 2024, la Hydrogen in Aviation Alliance (HIA) del Reino Unido presentó un informe que resalta la necesidad de un marco regulatorio integral, abarcando certificación de aeronaves, estándares operativos e infraestructura aeroportuaria para el hidrógeno. Este informe subraya la importancia de incentivos gubernamentales para superar los costos de transición hacia esta tecnología.

Japón, líder en tecnologías de hidrógeno, ha implementado estrategias que incluyen la aviación dentro de un enfoque integral de economía del hidrógeno, aunque sin regulaciones específicas para aeropuertos. Por su parte, Alemania cuenta con un marco avanzado para el manejo y transporte de hidrógeno, aplicable a los aeropuertos, aunque aún trabaja en normativas específicas para la aviación. Colabora con organismos europeos como EASA en la certificación de aviones e infraestructura necesaria para el uso del hidrógeno.

6.7.2.8 HIDRÓGENO VERDE EN EL TRANSPORTE TERRESTRE CHILENO

Chile ha comenzado a posicionarse como un referente en el uso de hidrógeno verde en transporte terrestre mediante iniciativas pioneras de empresas nacionales e internacionales. Hyzon Motors, una compañía estadounidense, ha identificado a Chile como un mercado estratégico debido a su interés en la energía limpia y su sólida industria minera. La empresa busca introducir camiones y buses impulsados por hidrógeno para transporte público y minería, aprovechando la infraestructura energética renovable del país.

Por su parte, Andes Motor, representante de Foton en Chile, estrenó el primer bus interurbano impulsado por hidrógeno. Este vehículo, con capacidad para 47 pasajeros y autonomía de 400 km, utiliza una pila de combustible de 120 kW y una batería de litio-ferrofosfato. Producido con tecnología avanzada, este bus refleja el compromiso chileno con la descarbonización del transporte y su transición al hidrógeno verde.

Figura 6-23: Primer bus a hidrógeno en Chile



Fuente: andes motor

En un enfoque más local, Reborn Electric Motors, una startup chilena, está desarrollando el primer bus a hidrógeno fabricado íntegramente en Chile. Este proyecto, respaldado por Anglo American, Colbún y Corfo, busca crear un vehículo con capacidad para 24 pasajeros, 450 km de autonomía y una velocidad máxima de 90 km/h. Su lanzamiento, previsto para 2025, simboliza un hito en la innovación tecnológica nacional y en la promoción de tecnologías limpias.

En el ámbito ferroviario, el Ferrocarril Antofagasta-Bolivia (FCAB), parte del Grupo Luksic, introducirá en 2024 el primer tren impulsado por hidrógeno verde en el país. Este tren, diseñado para reducir las emisiones en el transporte de carga pesada, utiliza celdas de combustible que generan electricidad a partir de hidrógeno. Su implementación reafirma el compromiso del sector minero con la sostenibilidad.

Figura 6-24: Prototipo de locomotora a hidrógeno verde, fabricado para la compañía por la empresa CRRQ QISHUYAN



Fuente Diario Financiero

El sector privado también avanza con iniciativas como las de Walmart Chile, que introdujo el primer camión de distribución impulsado por hidrógeno verde, y Sotraser, que incorporó un tractocamión diseñado para transporte de carga pesada. Ambos proyectos demuestran la viabilidad del hidrógeno en operaciones logísticas, reduciendo emisiones y sentando las bases para su expansión a minería y otros sectores productivos.

6.7.2.9 ESTUDIOS DE VIABILIDAD Y PROYECTOS PILOTO PARA LA ADOPCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE EN CHILE

Chile avanza en la adopción del hidrógeno verde mediante estudios de viabilidad y proyectos piloto que buscan consolidar su posición como líder en energías limpias. Uno de estos esfuerzos, liderado por la Agencia de Sostenibilidad Energética (AgenciaSE) y el Ministerio de Energía, es un estudio lanzado en 2024 para evaluar la viabilidad técnica y económica del uso de hidrógeno verde en el transporte pesado de carga y pasajeros. Este análisis busca identificar modelos de negocio, infraestructura necesaria y soluciones adaptadas al contexto chileno, además de revisar experiencias internacionales.

El proyecto Solar NH3-Pool Chile, enfocado en la región de Antofagasta, propone un parque industrial sostenible para la producción de hidrógeno y amoníaco verde. Liderado por Soventix Chile SpA y socios internacionales, este modelo optimiza recursos compartidos, como energía y agua desalada, para reducir costos y promover economías de escala. Incluye una planta

modelo con capacidad inicial para producir 1.000 toneladas diarias de amoníaco verde, ampliable a 2.000, destacando la importancia de la colaboración público-privada y la planificación sostenible.

En la Región de Magallanes, el proyecto Haru Oni, liderado por HIF Global en colaboración con Porsche, Siemens Energy y otros socios, marca un hito global como la primera planta de e-Combustibles en funcionamiento. Utilizando energía eólica y CO₂ biogénico, produce gasolina y gas licuado sintético con una inversión de 78 millones de dólares. Con una capacidad de 130.000 litros anuales, este proyecto pionero aprovecha infraestructuras existentes para reducir emisiones mediante la reutilización continua de CO₂.

Figura 6-25: Planta Haru Oni



Fuente: hifglobal.com

El proyecto HyEx, desarrollado por ENGIE y Enaex en Antofagasta, busca construir una planta piloto para producir 3.200 toneladas anuales de hidrógeno verde mediante una capacidad de electrólisis de 26 MW. Este hidrógeno se destinará a la fabricación de amoníaco verde, reemplazando métodos basados en combustibles fósiles y reduciendo más de 30.000 toneladas de CO₂ al año. Con planes de expansión a una producción de 700.000 toneladas para 2030, el proyecto refuerza el potencial exportador de Chile en energías limpias.

En la Bahía de Quintero, el proyecto Hidrógeno Verde Bahía Quintero, liderado por GNL Quintero, Acciona Energía y Enagás Renovable, contempla una planta piloto con capacidad para producir entre 660 y 1.600 toneladas anuales de hidrógeno verde con una potencia instalada de 10 MW. Este proyecto se centra en sustituir combustibles contaminantes en industrias locales, alineándose con la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde y fomentando la participación ciudadana.

6.7.2.10 BARRERAS REGULATORIAS DEL HIDRÓGENO VERDE EN CHILE

El desarrollo del hidrógeno verde en Chile enfrenta desafíos regulatorios significativos debido a la ausencia de un marco normativo específico que cubra toda la cadena de valor. Aunque el hidrógeno es reconocido como una sustancia peligrosa bajo la NCh382.Of98:2003, su regulación se basa en normativas generales relacionadas con gases inflamables, transporte de sustancias peligrosas y seguridad laboral, gestionadas por diversos ministerios. Sin embargo, estas disposiciones son fragmentadas e insuficientes para atender las necesidades técnicas y de seguridad específicas del hidrógeno.

Figura 6-26: Listado de reglamentos y normas que aplican al hidrógeno como sustancia peligrosa

Organismo	Título	Tipo y número del documento	Fecha de publicación
Ministerio de Salud	Aprueba el reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas	DTO-43	25-09-2016
	Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	DTO-594	14-02-2018
	Aprueba listado de sustancias peligrosas para la salud	RES 408 EXENTA	10-06-2016
Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones	Reglamenta transporte de cargas peligrosas por calles y caminos	DTO-298	02-02-2002
	Actualiza y modifica reglamento de manipulación y almacenamiento de cargas peligrosas en recintos portuarios	Resolución 96	20-01-1997
Ministerio del Trabajo y Previsión Social	Aprueba reglamento sobre prevención de riesgos profesionales	DTO-40	16-09-1995
Ministerio de Minería	Aprueba reglamento de seguridad minera	DTO-132	07-02-2004
INN	Mercancías peligrosas- Clasificación	NCh382.Of98	2017
	Transporte de sustancias peligrosas- Distintivos para identificación de riesgos	NCh2190.Of2003	2003
	Prevención de riesgos - Parte 4: Señales de seguridad para la identificación de riesgos de materiales	NCh1411/4.Of78	2000
	Hoja de datos de seguridad para productos químicos	NCh2245.Of2015	2015

Fuente: Informe "Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile", mayo 2020

Un estudio titulado "Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile" (2020) identificó importantes brechas regulatorias y propuso acciones para desarrollar un marco normativo integral. Actualmente, la regulación nacional incluye normas como el Decreto 43/2016, que aborda el almacenamiento de sustancias peligrosas, y el Decreto 298/2002, sobre transporte de cargas peligrosas. Sin embargo, estos marcos carecen de disposiciones específicas para el hidrógeno como combustible energético, dejando aspectos como su almacenamiento, distribución y consumo sin una regulación adecuada.

En la etapa de producción, no existe regulación específica que contemple las particularidades del hidrógeno, ya sea en plantas industriales o en instalaciones a pequeña escala. Las normas actuales, como los decretos 594/2018 y 40/95, no abordan los riesgos asociados a la producción de hidrógeno, requiriendo actualizaciones para incorporar disposiciones especiales.

Para el acondicionamiento y almacenamiento, la situación es similar. Aunque las regulaciones industriales actuales son mínimamente aplicables, no existe normativa que contemple el almacenamiento de hidrógeno como combustible energético, lo que representa una limitación significativa para su masificación.

En cuanto al transporte y distribución, las normativas vigentes, como el Decreto 298/2002 y el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, se enfocan en el manejo general de sustancias peligrosas, pero resultan insuficientes frente a un eventual aumento en los volúmenes transportados de hidrógeno. Comparado con regulaciones internacionales más detalladas, estas disposiciones chilenas carecen de especificaciones técnicas esenciales para garantizar la seguridad en la transferencia y transporte del hidrógeno.

El consumo de hidrógeno en plantas industriales, celdas de combustible o procesos de combustión también carece de regulación específica. Las normas actuales son insuficientes para abordar los riesgos únicos del hidrógeno, especialmente en sectores como el residencial, comercial y de transporte, donde aún no hay disposiciones para el dispensado público o privado, ni para su uso en maquinaria, barcos o aviones.

6.7.2.11 REGULACIONES AFECTADAS POR LA INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO COMO COMBUSTIBLE EN CHILE

La incorporación del hidrógeno como combustible en Chile requiere adaptar una amplia gama de normativas relacionadas con el transporte, almacenamiento y uso de sustancias peligrosas y combustibles tradicionales. Aunque el hidrógeno verde se posiciona como un componente clave en la transición energética, su regulación actual es insuficiente para abordar sus características y desafíos específicos. Diversos decretos y reglamentos deberán ser modificados para garantizar una integración segura y eficiente de esta tecnología en sectores industriales y de transporte.

El Decreto 54 de 1997 regula la homologación de vehículos motorizados, abarcando aspectos como emisiones, diseño constructivo y conformidad técnica. Aunque no distingue entre tipos de combustible, deberá actualizarse para incluir los requisitos específicos de vehículos impulsados por hidrógeno, como las celdas de combustible y sistemas de almacenamiento de alta presión.

El Decreto 156 de 1990, que regula las revisiones técnicas, también requerirá ajustes para contemplar las especificaciones únicas de los vehículos de hidrógeno, como el mantenimiento de los tanques de almacenamiento y sistemas de seguridad.

En materia de impuestos, la Ley 18.502, que establece impuestos específicos sobre combustibles, deberá incorporar al hidrógeno como un nuevo combustible, definiendo mecanismos de cobro que consideren su origen renovable y no fósil. Además, será necesario revisar las normativas que exigen registrar el tipo de combustible en los vehículos.

Las normas de emisiones también necesitan modificaciones. Decretos como el 54/94, 55/94 y 211/91, diseñados para combustibles líquidos y gaseosos convencionales, deberán adaptarse para regular adecuadamente los estándares de emisiones asociados al uso del hidrógeno, considerando que este no produce contaminantes típicos como CO, NOx o partículas. Asimismo, el Decreto 82/94, que regula las emisiones de los buses urbanos, y el Decreto 4/94, que complementa otras normativas de emisiones, deberán incluir disposiciones específicas para el hidrógeno.

El Decreto 138 de 2005 y el Decreto 29 de 2013, que regulan las emisiones de fuentes fijas y procesos industriales como la incineración y el coprocesamiento, también deberán ser actualizados. Estas normativas deberán incluir al hidrógeno como un combustible alternativo en procesos de generación de energía y calor, garantizando que su uso cumpla con estándares ambientales y de seguridad.

6.7.3 Electromovilidad

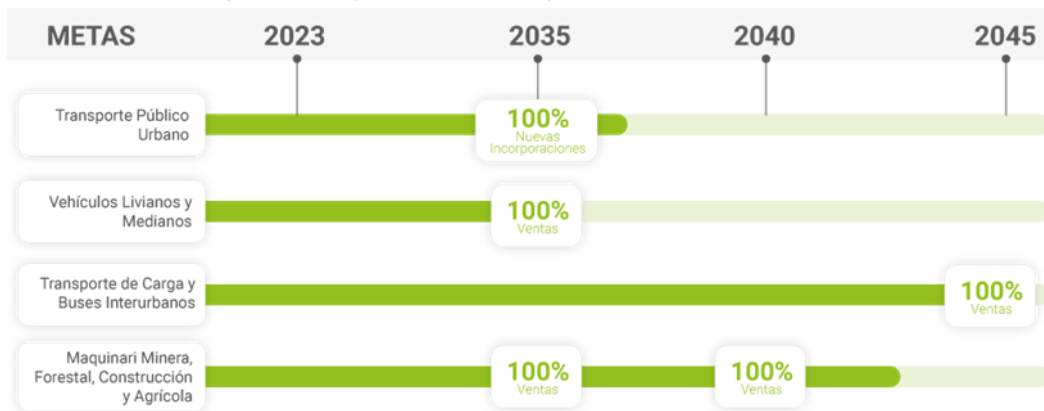
La electromovilidad, especialmente el uso de vehículos eléctricos (EV) y su infraestructura asociada, ha ganado relevancia en diversos sectores, incluidos los aeropuertos. Este avance responde a la necesidad de mejorar la eficiencia energética, reducir emisiones de GEI y cumplir compromisos internacionales de sostenibilidad. En el ámbito aeroportuario, la electromovilidad abarca el uso de equipos eléctricos de apoyo en tierra, vehículos para mover aviones, autobuses de acercamiento y vehículos eléctricos para pasajeros, con el objetivo de reemplazar tecnologías basadas en combustibles fósiles por alternativas más limpias y eficientes.

6.7.3.1 ELECTROMOVILIDAD EN CHILE

Chile ha asumido un fuerte compromiso con la electromovilidad como una estrategia clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética en el transporte. La Estrategia Nacional de Electromovilidad, presentada en octubre de 2021 por el Ministerio de Energía, establece metas ambiciosas para electrificar diversos sectores, desde el transporte público y vehículos particulares hasta la maquinaria industrial, minera y agrícola. Con el objetivo de que para 2035 todas las ventas de vehículos livianos, medianos y de transporte público sean de cero emisiones, el plan incluye incentivos, regulación y promoción de la infraestructura de carga a nivel nacional. Además, la Ley 21.505, promulgada en

2022, otorga beneficios fiscales para la adquisición de vehículos eléctricos, incluyendo exenciones en permisos de circulación y subsidios directos, y establece estándares para la infraestructura de carga.

Figura 6-27: Objetivos de la Estrategia Nacional de Electromovilidad



Fuente: Ministerio de Energía, Estrategia Nacional de Electromovilidad

El Acuerdo por la Electromovilidad, una iniciativa que comenzó en 2017 con 20 firmantes y que en 2023 ya cuenta con 161 instituciones comprometidas, busca coordinar esfuerzos entre el sector público y privado para acelerar la adopción de vehículos eléctricos. En 2024, el acuerdo ha enfocado su implementación en el seguimiento de iniciativas, el fortalecimiento del ecosistema mediante eventos de networking y el reconocimiento a actores comprometidos. Como resultado, se han desarrollado 27 terminales de carga, una hidrolinera, 782 puntos de carga públicos y privados, y la formación de más de 1.200 personas en electromovilidad. También se han adquirido 284 automóviles eléctricos, 35 camiones, 1.400 bicicletas y 44 buses eléctricos. Estos avances son fundamentales, considerando que el transporte representa el 35% del consumo energético del país y el 25,5% de las emisiones de GEI.

El Plan Nacional de Eficiencia Energética 2022-2026 establece una reducción del 4,5% en la intensidad energética para 2026 y un 25% para 2050. En el sector productivo, se promueve la adopción de tecnologías más eficientes y la capacitación técnica. En edificaciones, se priorizan normativas de construcción sustentable y el uso de energías renovables. En el transporte, se fomenta la electromovilidad con la meta de duplicar la eficiencia de los vehículos livianos nuevos para 2035 y cuadruplicarla para 2050.

La Hoja de Ruta para la Electromovilidad en Chile define acciones concretas hasta 2026 para masificar el uso de vehículos eléctricos, centrándose en infraestructura de carga, transporte público, educación y regulación. Hasta agosto de 2023, el 66,4% de los cargadores públicos estaban en la Región Metropolitana, con desafíos en regiones menos atendidas. Actualmente, el país cuenta con 869 electrolineras, algunas de ellas cercanas a aeropuertos como Arturo Merino Benítez y Carriel Sur.

En el ámbito del transporte público, Santiago cuenta con la segunda flota de autobuses eléctricos más grande del mundo fuera de China. Actualmente, el sistema RED opera con 2.000 buses eléctricos, representando el 31% de la flota total y reduciendo en 31.000 toneladas anuales las emisiones de CO₂. Este modelo se ha extendido a otras ciudades como Arica, Valparaíso, Concepción y Villarrica, con flotas de buses eléctricos equipados con tecnología moderna. El Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez también ha incorporado electromovilidad con el servicio 555 de buses eléctricos, taxis eléctricos y la instalación de una electroestación, la primera de América Latina en su tipo.

Figura 6-28: Ruta recorrido 555



Figura 6-29: Bus eléctrico BYD B12C01 de Red



Fuente: RED Transporte Público de Santiago y BID Chile

En el Aeródromo Carriel Sur de Concepción, la electrificación también ha avanzado. En octubre de 2021, se inauguró el primer punto de carga para vehículos eléctricos en el aeropuerto, como parte del proyecto ElectroRuta Enel X. Este cargador JuicePole permite la carga simultánea de dos vehículos con tomas de 22kW de corriente alterna, asegurando un abastecimiento eficiente sin interferir con la operación aeroportuaria. Su instalación, apoyada por Enel X y el Gobierno de Chile, demuestra el compromiso con la movilidad eléctrica, fortaleciendo la red de carga en infraestructura clave. Con la canalización subterránea de más de 135 metros de tendido eléctrico hasta el estacionamiento.

Figura 6-30: Ubicación estaciones de carga en aeropuerto Carriel Sur



Fuente: Google Earth (2024)

En 2023, el parque de vehículos eléctricos y de bajas emisiones alcanzó las 12.723 unidades, con una proyección de 24.837 para 2024. Las ventas de vehículos electrificados crecieron un 35% en 2023, con un aumento del 22,6% en modelos 100% eléctricos y un 6,8% en híbridos enchufables. Durante el primer semestre de 2024, las ventas de vehículos de bajas emisiones se duplicaron, con un crecimiento del 126% en vehículos eléctricos. La expansión de la infraestructura de carga ha sido clave en este crecimiento, con iniciativas como “ElectroRuta Enel X”, que ha instalado 700 estaciones de carga y busca alcanzar 1.200 a nivel nacional.

Chile también apuesta por el desarrollo tecnológico e investigación en electromovilidad. Instituciones como CORFO y ANID han impulsado proyectos en almacenamiento de energía y baterías de segunda vida. La Plataforma de Electromovilidad del Ministerio de Energía y la Universidad Técnica Federico Santa María trabajan en optimización de componentes vehiculares y tecnologías como el vehículo a red (V2G), que permite la integración de la electromovilidad con el sistema eléctrico nacional.

6.7.3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PROYECTOS NACIONALES E INTERNACIONALES

El análisis comparativo entre los proyectos nacionales e internacionales de electromovilidad en aeropuertos revela importantes factores de éxito, desafíos y mejores prácticas en cada contexto.

En Chile, el impulso a la electromovilidad ha sido respaldado por un firme compromiso gubernamental con la reducción de emisiones y la contaminación, reflejado en la Estrategia Nacional de Electromovilidad y en diversas políticas de apoyo, como incentivos fiscales y subsidios para la adopción de vehículos eléctricos. Se han implementado proyectos piloto en zonas urbanas y en aeropuertos clave como Arturo Merino Benítez y Carriel Sur, con el propósito de establecer una infraestructura de carga robusta. Además, la aceptación pública ha crecido gracias a campañas educativas y la colaboración entre municipios y el sector privado.

A pesar de estos avances, el desafío principal radica en la expansión de la infraestructura más allá de los proyectos piloto para garantizar una adopción masiva en todos los aeropuertos del país. Aunque existen incentivos, el alto costo de los vehículos eléctricos sigue siendo una barrera, especialmente para aquellos aeropuertos con menor capacidad de inversión.

En el ámbito internacional, los aeropuertos de Ámsterdam Schiphol, Los Ángeles y Oslo han demostrado un fuerte liderazgo en la implementación de la electromovilidad, alineando sus estrategias con objetivos de sostenibilidad y políticas climáticas nacionales y regionales. Se destacan por la consolidación de redes avanzadas de estaciones de carga y flotas diversificadas de vehículos eléctricos, incluyendo unidades de apoyo en tierra, autobuses, taxis y vehículos particulares. Además, han integrado tecnologías inteligentes para la gestión eficiente de la carga y la optimización energética.

6.7.4 Net Zero

El cambio climático es uno de los principales puntos de preocupación en los últimos años, asociándolo a los desastres naturales y extinción de especies. Como elementos y estrategias para abordar la crisis, la comunidad global ha propuesto suscribir a la meta de lograr la carbono neutralidad al año 2050, con el fin de limitar el calentamiento global bajo los 2º Celsius, y en el mejor de los casos, bajo 1,5ºC como en la era pre-industrial.

El sector edificación es uno de los principales consumidores de energía y de emisión de dióxido de carbono en el planeta. La Dirección General de Energía de la Comisión Europea, determinó que el parque construido representaba cerca del 40% del consumo de energía, y del 36% de las emisiones de carbono en la Unión Europea. Para lograr la reducción de estos valores, la promoción de altos niveles de eficiencia energética, así como la incorporación de energías renovables a la matriz, son elementos clave que se están abordando para las edificaciones. La Directiva de Comportamiento Energético de Edificaciones de la Unión Europea, ha indicado el estándar Cercano a Zero Energía (nearly Zero Energy Buildings) que deben cumplir todas las nuevas construcciones a partir de fines del 2020. Para lograr alcanzarlo, las mejores estrategias a implementar se sitúan en optimizar la envolvente térmica del edificio, y así en la reducción de demanda de energía, antes que en la instalación de sistemas de energías renovables.

Relacionado a la envolvente del edificio, la baja transmitancia térmica que ésta posea es determinante para la reducción de demanda de energía del edificio. Las edificaciones de bajo consumo energético, y el estándar pasivo (passive-house), son las actuales referencias en el diseño eficiente de construcciones, ya que logran un bajo requerimiento de energía principalmente a través de un optimizado diseño de su envolvente optimizando las pérdidas y ganancias energéticas.

Las construcciones NetZero son muy eficientes energéticamente (presentan una muy baja demanda de energía), cuentan con sistemas de energía renovable en el lugar, o fuera de él, que les permite tener un balance neto cero anual entre energía consumida y energía producida, y un balance neto cero en emisiones de carbono equivalente cuantificadas durante el ciclo de vida.

6.7.4.1 HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN

La certificación LEED Zero, desarrollada por el U.S. Green Building Council, reconoce edificaciones con un desempeño excepcional en carbono, energía, agua y residuos, complementando las certificaciones LEED tradicionales con un enfoque en la operación continua del edificio. Existen cuatro variantes dentro de este programa: LEED Zero Carbon, que certifica

edificaciones con cero emisiones netas de carbono durante un año, incluyendo las emisiones generadas por el transporte de sus ocupantes; LEED Zero Energía, otorgado a aquellas construcciones que logran un balance neto cero en su consumo energético mediante el uso de energías renovables; LEED Zero Agua, que garantiza la neutralidad en el consumo de agua potable a través de la reutilización y la infraestructura verde; y LEED Zero Residuo, que exige que el 90% de los residuos generados sean desviados de vertederos o incineradores, con certificación TRUE Zero Waste Platinum. Para obtener cualquiera de estas certificaciones, los edificios deben demostrar un desempeño sostenido durante al menos 12 meses mediante datos de monitoreo, asegurando transparencia y una reducción efectiva de impactos ambientales.

Otro enfoque de certificación lo lidera el International Living Future Institute (ILFI), que promueve una visión regenerativa a través de distintos programas. Su certificación más ambiciosa es el Living Building Challenge, que busca edificaciones en armonía con el entorno natural, asegurando que operen de manera autosuficiente. Además, ofrece la Zero Energy Certification, destinada a proyectos que funcionan exclusivamente con energía renovable generada in situ, y la Zero Carbon Certification, que garantiza que un edificio alcance carbono neto cero tanto en su operación como en los materiales empleados en su construcción. Para facilitar la planificación y monitoreo del desempeño energético, el ILFI también proporciona la herramienta Zero Tool, una calculadora que ayuda a definir metas de eficiencia energética según la ubicación y el tipo de proyecto.

El World Green Building Council, a través de su iniciativa Advancing Net Zero, busca descarbonizar completamente el sector de la construcción para 2050, promoviendo la eficiencia energética, el uso de energías renovables y la reducción de emisiones incorporadas en los materiales. Su enfoque fomenta la economía circular y la reutilización de infraestructuras existentes, impulsando estrategias personalizadas para que las organizaciones alcancen sus objetivos climáticos a través de planes de acción medibles y la presentación de informes anuales que reflejen sus avances en la reducción de emisiones.

En el sector aeroportuario, la Airport Carbon Accreditation (ACA) es la certificación más reconocida para evaluar y reducir la huella de carbono de los aeropuertos. Desarrollada por el Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI), este programa cuenta con cinco niveles progresivos. El Nivel 1 Mapeo consiste en medir y documentar la huella de carbono del aeropuerto como punto de partida. En el Nivel 2 Reducción, se implementan estrategias para disminuir las emisiones, como el uso de energías renovables y la optimización de procesos. El Nivel 3 Optimización amplía la responsabilidad del aeropuerto, involucrando a terceros como aerolíneas y proveedores de servicios, mientras que en el Nivel 3+ Neutralidad se exige la compensación de emisiones residuales a través de la compra de créditos de carbono. Con la introducción de los niveles 4 Transformación y 4+ Transición, la certificación busca alinear las operaciones aeroportuarias con los compromisos del Acuerdo de París, estableciendo metas absolutas de reducción de emisiones y una mayor colaboración con todos los actores de la cadena de valor. Finalmente, el Nivel 5, la acreditación más alta, certifica que un aeropuerto ha alcanzado un balance de carbono neto cero, incluyendo las emisiones indirectas de alcance 3.

En América Latina, algunos aeropuertos han logrado destacarse en este proceso. El Aeropuerto Internacional de Quito ha alcanzado el Nivel 4+ Transición, mientras que el Aeropuerto El Dorado de Bogotá ha sido certificado con el Nivel 4+ Transformación, reflejando la creciente adopción de estrategias sostenibles en la región.

6.7.4.2 RESUMEN Y COMPARACIÓN DE CERTIFICACIONES

La certificación LEED Zero se centra en la reducción de las emisiones de carbono operativo y el consumo energético del edificio. Existen cuatro variantes de esta certificación: Zero Carbon, Zero Energía, Zero Agua y Zero Residuos. LEED Zero Carbon busca lograr un balance de carbono operacional neto cero mediante la medición anual de las emisiones de CO₂ y su compensación o reducción. Por otro lado, LEED Zero Energía se enfoca en alcanzar un consumo energético cero neto mediante el balance anual de energía consumida y generada in situ, promoviendo el uso de energías renovables. En cuanto a LEED Zero Agua, el objetivo es optimizar la eficiencia en el consumo de agua potable del edificio, mientras que LEED Zero Residuos busca minimizar los desechos enviados a vertederos mediante prácticas de reciclaje y compostaje. Un resumen y comparación de las certificaciones se puede observar en la Tabla 6-39 y Tabla 6-40.

Tabla 6-39: Tabla resumen de requerimientos y alcances de las certificaciones Net Zero

Certificación	Carbono incorporado en materiales	Carbono operacional del consumo de energía	Carbono emitido por el transporte de ocupantes	Medio de verificación	Consumo de energía cero en un año	100% Consumo de energía en base a Energías renovables	Sólo se puede utilizar ER del sitio	Validez de la certificación
LEED Zero	No considera	Si considera	Si considera	Medición de 1 año (mínimo 50% ocupación)	Si considera	No considera	Se puede compensar	3 años, y deben enviar datos de desempeño de forma anual
ZeroCarbon-Energy (ILFI)	Si considera	Si considera	No considera	Medición de 1 año (mínimo 85% ocupación)	Si considera	Si considera	Si considera	Permanente, hasta que se realice algún cambio.
ACA	No considera	Si considera	Si considera	Reducción del 90 % de las emisiones absolutas de CO ₂ en los niveles de alcance 1 y 2, y comprometerse a alcanzar las cero emisiones netas en el alcance 3 para 2050 o antes.	Si considera	No considera	Se puede compensar	Renovable

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-40: Tabla comparativa de certificaciones

Certificación	Objetivo	Alcance	Metodología	Herramientas disponibles
LEED Zero Carbon	Lograr que las emisiones de carbono operacional sean cero neto.	Operación del edificio	Evaluación de balance de carbono anual: CO ₂ emitido versus CO ₂ compensado y reducido	LEED, LEED O+M, AVERT (para calcular emisiones de carbono evitadas).
LEED Zero Energía	Alcanzar un consumo energético cero neto.	Consumo energético del edificio	Medición y balance anual de energía consumida y generada en sitio	LEED, LEED O+M, AVERT, herramientas de modelado de consumo energético y simulaciones de rendimiento energético
LEED Zero Agua	Reducir significativamente el uso de agua potable y optimizar la eficiencia del agua en el edificio.	Consumo de agua en el edificio	Cálculo de consumo anual de agua potable y estrategias para reducirlo.	LEED, LEED O+M
LEED Zero Residuos	Minimizar los residuos enviados a vertederos mediante prácticas de gestión y reciclaje.	Generación de residuos sólidos del edificio	Monitoreo y control de generación de desechos, promoviendo prácticas de reciclaje, compostaje y reducción	LEED, LEED O+M, TRUE Zero Waste Certification, herramientas de ACV (análisis de ciclo de vida)
ILFI Zero Energy Certification	Reducir el uso de energía operacional a través de la optimización del diseño, Descarbonizar todos los sistemas energéticos del edificio y Compensar el uso de energía a través de energía renovable	Consumo y producción energética dentro de los límites del proyecto	Uso de herramientas de monitoreo energético, eliminando combustibles fósiles y maximizando energías renovables	Zero Tool
ILFI Zero Carbon Certification	Reducir y compensar las emisiones de carbono de operación e incorporados de los edificios.	Emisiones de carbono incorporado y operacional	Evaluación de carbono incorporado y reducción de carbono mediante energías renovables y compensación	Zero Tool, EDGE, herramientas de ACV (análisis de ciclo de vida), herramientas de cálculo de carbono incorporado, Declaraciones ambientales de productos (DAP)

Certificación	Objetivo	Alcance	Metodología	Herramientas disponibles
Advancing Net Zero (WorldGBC)	Promover el desarrollo, programas y recursos para alcanzar la descarbonización total del sector construcción al 2050	Construcción, operación y demolición de edificios	Descarbonización de todo el ciclo de vida del edificio, promoviendo eficiencia energética, materiales sostenibles, economía circular y energías renovables	Dependiente del perfil específico del edificio
Airport Carbon Accreditation (ACA)	Evaluar la gestión y reducción de emisiones de carbono en aeropuertos a través de niveles progresivos.	Emisiones de carbono en aeropuertos	Proceso gradual de mapeo, reducción, optimización y neutralización de carbono en operación	Medición de huella de carbono mediante Manual de Aplicación, ACERT (herramienta de informes de carbono y emisiones), auditorías, Manual de Compensación de ACA

Fuente: Elaboración propia

6.7.4.3 HERRAMIENTAS PARA CÁLCULO DE CICLO DE VIDA USADAS EN CHILE

En la Tabla 6-41 se presenta una comparación de diversas herramientas utilizadas para el cálculo del ciclo de vida (LCA) en Chile, con el objetivo de evaluar el impacto ambiental de productos, procesos y edificaciones. Estas herramientas han sido seleccionadas considerando su relevancia en el contexto nacional e internacional, y se destacan por sus características específicas, bases de datos empleadas, ventajas, desventajas, idioma de uso y costos asociados.

Tabla 6-41: Comparación herramientas

Herramienta	Características principales	Base de datos	Ventajas	Desventajas	Idioma	Costo aproximado
EC3	Herramienta de Microsoft para evaluar la huella de carbono de productos y proyectos	Variedad de bases de datos	Integración con Microsoft 365, fácil de usar, soporte de la comunidad	Puede requerir conocimientos técnicos para su uso avanzado	Inglés	Gratis
SimaPro	Software de análisis del ciclo de vida (LCA) para evaluar el impacto ambiental	Ecoinvent, Agrifootprint, etc.	Amplia base de datos, soporte técnico, flexibilidad en la personalización	Costo elevado, curva de aprendizaje pronunciada	Inglés	Desde \$2000 hasta \$10.000 USD
GaBI	Herramienta de evaluación ambiental para productos y procesos	GaBI database, Ecoinvent	Interfaz intuitiva, soporte de la comunidad, actualizaciones frecuentes	Limitaciones en la base de datos comparada con otras herramientas	Inglés, alemán	Gratis
OneClick LCA	Software de LCA para la evaluación del ciclo de vida de productos y edificaciones	Variedad de base de datos	Integración con software de diseño, fácil de usar, reportes detallados	Puede ser costoso, dependencia de la base de datos	Inglés	Desde \$1.500 hasta \$5.000 USD
Abaco Chile	Herramienta nacional para la evaluación de la huella de carbono en edificaciones	Inventario Nacional de GEI 1990-2022	Adaptada a la normativa chilena, soporte local, actualizaciones regulares	Menor conocimiento internacional comparado con otras herramientas no incluye todas las etapas del ciclo de vida	Español	Gratis

Fuente: Elaboración propia

6.7.4.4 MEDIDAS NET ZERO ADOPTADAS POR AEROPUERTOS REFERENTES

A continuación, se presenta una tabla comparativa que detalla las medidas adoptadas en Net Zero por el aeropuerto Arturo Merino Benítez (AMB) en Chile, Changi en Singapur y Schiphol en Ámsterdam.

Tabla 6-42: Comparación de medidas Net Zero en aeropuertos

Aspecto Evaluado	Arturo Merino Benítez (AMB) - Chile	Aeropuerto de Changi - Singapur	Aeropuerto de Schiphol - Ámsterdam
Energía Renovable	Ha instalado paneles solares en techos de algunos edificios, generando energía propia y reduciendo la dependencia de fuentes externas.	Ha desarrollado infraestructuras con paneles solares y ha iniciado un proyecto de producción de hidrógeno verde para la aviación.	Schiphol cuenta con paneles solares en techos de terminales y edificios de gestión, además de estaciones de carga eléctrica para flota.
Certificación y Objetivos de Net Zero	Cuenta con la certificación ACA Nivel 2 y busca alcanzar Net Zero para 2050, con una reducción de huella de carbono del 40% para 2030.	Cuenta con la certificación ACA Nivel 2 y busca alcanzar Net Zero para 2050, con una reducción de huella de carbono del 40% para 2030.	Cuenta con la certificación ACA Nivel 2 y busca alcanzar Net Zero para 2050, con una reducción de huella de carbono del 40% para 2030.
Electrificación de Flota Terrestre	Ha implementado vehículos eléctricos para el transporte de personal y carga en tierra, buscando disminuir la dependencia de combustibles fósiles en sus operaciones.	Está en proceso de reemplazo de su flota de vehículos en tierra, sustituyendo los vehículos de mayor tamaño por opciones de hidrógeno y eléctricos para el resto de la flota.	Schiphol lidera en electrificación, con una flota terrestre completamente cero emisiones proyectadas para 2030, que incluye vehículos eléctricos y estaciones de carga estratégicamente ubicadas.
Hidrógeno Verde	En asociación con Copec y Colbún, ha firmado un acuerdo para desarrollar la infraestructura de hidrógeno, orientada a integrar su uso en operaciones terrestres y futuras aeronaves.	Colabora con Linde y Airbus para evaluar el uso de hidrógeno en aviación, y establecer el soporte logístico necesario para la producción y suministro en el aeropuerto.	Schiphol ha introducido GPU de hidrógeno en pruebas, contribuyendo a reducir las emisiones al abastecer aeronaves con energía limpia y eficiente.
Gestión de Residuos	Implementa biodigestores que permiten tratar los residuos orgánicos y convertirlos en energía, ayudando a reducir el volumen de desechos y aprovechando recursos.	Optimiza sus procesos de reciclaje y minimización de residuos en todas sus instalaciones, incluyendo prácticas sostenibles en cada terminal.	Schiphol cuenta con instalaciones de reciclaje en áreas de construcción y demoliciones, promoviendo la reutilización de materiales y minimizando el desperdicio de recursos.
Reducción de Residuos en Infraestructura	Sin información	Optimiza el uso de materiales en operaciones de mantenimiento y reciclaje, reduciendo el impacto ambiental en el ciclo de vida de sus instalaciones.	Incluye plantas de reciclaje de materiales de construcción, demoliciones y otras infraestructuras, incentivando una gestión responsable de recursos en proyectos de expansión.
Refrigeración y Climatización	Ha implementado sistemas de eficiencia energética en los equipos de refrigeración y climatización para reducir el consumo eléctrico.	Renovó los sistemas de enfriamiento en Terminal 1, logrando un mejor rendimiento energético en las áreas de alto consumo.	Ha instalado sistemas de ventilación eficientes en terminales y áreas administrativas, mejorando la eficiencia y reduciendo el consumo energético.
Puntos de Carga para Vehículos	Cuenta con puntos de carga para su flota de vehículos eléctricos en tierra, facilitando la operación de estos sin necesidad de combustibles fósiles.	Instalación de puntos de carga para flota eléctrica en zonas de operaciones, que complementa la infraestructura de movilidad sostenible.	Schiphol ha implementado numerosas estaciones de carga, atendiendo tanto a vehículos de servicio como a taxis eléctricos, optimizando la logística de carga dentro del aeropuerto.
Reciclaje de Materiales	Sin información	Gestiona el reciclaje de alfombras, residuos de mantenimiento y otros materiales, disminuyendo el impacto de desechos a largo plazo.	Incluye reciclaje en todas las áreas de construcción y demolición, y se destaca por el uso de materiales reciclados como el plástico en obras de infraestructura.
Sistemas de Monitoreo de Emisiones	Sin información	Cuenta con sistemas de monitoreo de eficiencia energética en instalaciones clave para evaluar el progreso en sus objetivos de sostenibilidad.	Realiza monitoreo y análisis de emisiones en tiempo real, utilizando esta información para ajustar sus prácticas de consumo energético y reducir su impacto.
Proyectos de Investigación	Sin información	Ha creado un centro de investigación en hidrógeno en colaboración con Airbus y CAAS para explorar aplicaciones futuras en aviación.	Participa en la investigación de alternativas bajas en carbono para movilidad en el aeropuerto y futuras aplicaciones en la aviación de hidrógeno.

Fuente: Elaboración propia

6.7.5 Propuestas técnicas para herramienta CES subetapa 9.2 Electromovilidad e hidrógeno verde

A continuación, se desarrollan en extenso las propuestas de requisitos o créditos asociados a las temáticas de estudio.

6.7.5.1 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE ESTACIONES DE CARGAS PARA VEHÍCULOS IMPULSADOS POR ELECTRICIDAD Y/O HIDRÓGENO

Se propone un requerimiento obligatorio, en el que todo proyecto que incluya un terminal de pasajeros aeroportuario de cualquier escala se realice un estudio sobre la factibilidad de instalar estaciones de carga para vehículos impulsados por electricidad o hidrógeno.

La definición de este requerimiento es que mediante un estudio técnico que evalúa la viabilidad de instalar estaciones de carga en los estacionamientos de los terminales aeropuertos en Chile. Este análisis debe priorizar el uso de fuentes de energía renovable (como solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz, biomasa, entre otras), y contemplar la conexión a la red eléctrica como respaldo. El enfoque es garantizar que estas estaciones puedan contribuir a la sostenibilidad y reducción de emisiones en el entorno aeroportuario.

El objetivo de este requerimiento es determinar la viabilidad técnica, económica y operativa de implementar infraestructuras que soporten la carga de vehículos eléctricos e impulsados por hidrógeno.

El alcance del requerimiento aplica para terminales de aeropuertos y/o refugios aeroportuarios de cualquier escala a largo de todo el país. Los estacionamientos se dividen en tres tipos: los destinados a usuarios pasajeros, los reservados para funcionarios del aeropuerto, y los utilizados por servicios de acercamiento (como buses y vehículos compartidos).

Requerimientos:

Para que el proyecto cumpla con el requerimiento, el proyecto debe presentar una memoria que presente en detalle el estudio de factibilidad debe contener al menos los siguientes puntos:

- El estudio debe utilizar fuentes de energía renovable como la principal alimentación a las estaciones de carga. Para esto se debe evaluar el potencial solar, eólico o de otras fuentes renovables de la ubicación donde el proyecto se emplaza. Esta evaluación debe realizarse utilizando información validada por el Ministerio de Energía como la que es obtenida del Explorador Solar, explorado eólico, planificación energética a largo plazo, planes estratégicos de energía regionales, estrategias de energía locales, infraestructuras de datos espaciales o realizar simulaciones y cálculos con software especiales y datos de climas validados por CES o generados según metodología ISO 15927-4 con información obtenida por estaciones inscritas en la WMO.
- El estudio debe proyectar el crecimiento de adopción de vehículos eléctricos o impulsados por hidrógeno en la zona de emplazamiento. En esta proyección se debe considerar los tipos de vehículos y la potencia según el plan maestro del proyecto.
- El estudio debe considerar la integración de la infraestructura de carga eléctrica con las de estacionamiento tradicional. El estudio debe identificar las áreas óptimas dentro de los estacionamientos donde se podrían instalar estaciones de carga.
- En el estudio se debe evaluar la integración de la infraestructura eléctrica de las estaciones de carga con la infraestructura eléctrica de las otras áreas del proyecto y debe cumplir con el decreto 8/2019, el Pliego Técnico RIC N°15 y la ley general de servicios eléctricos.
- En el estudio se debe evaluar la factibilidad económica de las estaciones de carga en el cual se debe incluir la inversión, operación y mantención.
- El estudio de factibilidad requiere la participación de un equipo multidisciplinario que integre competencias técnicas, económicas y de planificación y que permita abordar los diversos aspectos del proyecto por lo que al menos estas tres competencias deben encontrarse presente en la memoria.

- El estudio debe considerar que las estaciones de carga cumplan con la ley general de servicios eléctricos, el Decreto 8/2019, el pliego técnico RIC N°15, la resolución exenta N°33.675, la Resolución Exenta N°23.900/2024, la Resolución Exenta N°26.339/2018, la Resolución Exenta 33.675, la Resolución Exenta Electrónica N° 10790/2022 y la Resolución Exenta Electrónica N° 12754/2022 y la normativa vigente.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.7.5.2 PROPUESTA DE CRÉDITO: PROMOCIÓN DE USO DE VEHÍCULOS SOSTENIBLES EN AEROPUERTOS

Se propone un crédito voluntario que busca contribuir a la reducción de las emisiones de gases contaminantes promoviendo el uso de vehículos sostenibles mediante la implementación de infraestructuras que faciliten la recarga de vehículos eléctricos o impulsados por hidrógeno en los estacionamientos de terminales y/o refugios aeroportuarios.

Este crédito tiene como objetivo fomentar la transición hacia la movilidad sostenible en aeropuertos, reduciendo las emisiones de gases contaminantes mediante la implementación de infraestructuras específicas para la recarga de vehículos eléctricos y de hidrógeno. Además, busca asegurar que estas instalaciones se alimenten preferentemente con fuentes de energía renovable, promoviendo un impacto ambiental positivo.

El alcance de este crédito aplica tanto a aeropuertos de gran escala como pequeños aeródromos a lo largo de todo el país, con énfasis en el uso de energías renovables para alimentar estas infraestructuras. Se propone un enfoque integral que contemple la integración tecnológica, la sostenibilidad energética y el cumplimiento normativo.

Requerimientos:

Para cumplir con el requerimiento, el proyecto debe presentar una memoria de cálculo que debe considerar al menos los siguientes puntos, teniendo como base el estudio de factibilidad realizado en el requerimiento “Estudio de factibilidad de estaciones de cargas para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno”:

- **Asignación Preferente de Espacios de Estacionamiento:** la asignación preferente de espacios de estacionamiento es un componente clave para fomentar el uso de vehículos sostenibles en aeropuertos. Este criterio establece lo siguiente:
 - Al menos el 5% del total de espacios de estacionamiento (según los estándares LEED) deberán destinarse exclusivamente a vehículos sostenibles (híbridos, eléctricos y/o hidrogeno) para alcanzar un nivel de desempeño calificado como bueno. Para alcanzar un nivel muy bueno, este porcentaje deberá incrementarse al 10%.
 - Se exige una prioridad de los espacios preferenciales en las distintas áreas del estacionamiento, considerando las necesidades de estadías de corto y largo plazo. Esta distribución sólo aplicar para estacionamientos del lado landside y para que sean considerados como preferenciales el sector de estacionamientos de vehículos sostenibles debe encontrarse al menos una distancia en línea recta de 50 metros de los estacionamientos de movilidad reducida o poseer un acceso directo a los accesos del edificio o cintas de transporte.
 - Es esencial que estos espacios estén acompañados de una señalización clara y visible que los identifique como exclusivos para vehículos eléctricos o de hidrógeno. Para cumplir con esto debe existir la señalización suficiente que permita guiar a los vehículos (en cada cruce principal debe remarcarse la dirección de los estacionamientos sostenibles) desde el estacionamiento hasta los estacionamientos para vehículos sostenibles.

- Infraestructura de carga con respuesta a la demanda:
 - Las estaciones de carga deben incluir sistemas de gestión inteligente que permitan ajustarse a las necesidades de demanda eléctrica, lo que implica que se ajusten dinámicamente a las necesidades de demanda eléctrica.
 - Se requiere la integración eficiente de estas infraestructuras con los sistemas eléctricos del proyecto que promueva un funcionamiento estable y confiable, evitando sobrecargas o interrupciones en el suministro eléctrico, y garantizando que las estaciones de carga operen de manera segura y continua dentro del entorno aeroportuario además de cumplir con el decreto 8/2019, el Pliego Técnico RIC N°15 y la ley general de servicios eléctricos.

- Uso de Energías Renovables:
 - Debe existir una prioridad en la generación de energía sostenible, lo que implica que las estaciones deben alimentarse principalmente de fuentes de energía renovable. Se especifica que al menos el 40% de la energía utilizada por las estaciones de carga debe provenir de sistemas renovables, como energía fotovoltaica, eólica, geotérmica, por biomasa o sistemas híbridos, esta generación puede ser tanto dentro o fuera del recinto. Solo en casos donde un análisis de factibilidad técnica lo justifique, se permitirá una excepción a este principio.

- Estándares de Seguridad y Calidad: se exige que las estaciones cumplan con todos los estándares técnicos y legales aplicables, asegurando un funcionamiento seguro, eficiente y alineado con las regulaciones vigentes. Entre las normativas que deben cumplirse se encuentran:
 - Reconocimiento por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC): certificación que garantiza el cumplimiento de los estándares regulatorios.
 - Decreto 8/2019: regulación específica para sistemas eléctricos.
 - Pliego técnico RIC N°15: especificaciones técnicas detalladas aplicables a la instalación y operación de estaciones de recarga.
 - Resolución exenta N°33.675: lineamientos generales sobre estaciones de recarga.
 - Resolución exenta N°23.900/2024: normativa técnica para instalaciones eléctricas relacionadas.
 - Resolución exenta N°26.339/2018: especificaciones operativas para estaciones de recarga.
 - Resolución exenta N°10790/2022 y N°12754/2022: reglas técnicas específicas para la seguridad y operación de sistemas eléctricos.

El cumplimiento de estas normativas asegura que las estaciones de recarga cumplan con los más altos estándares de calidad y seguridad, promoviendo la confianza en su uso y la sostenibilidad del proyecto.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido al esquema existente de la certificación en donde entidades evaluadoras deben revisar la documentación realizada por proyectistas y asesores y que es posible que no cuenten con todas las aptitudes técnicas para evaluar proyectos de estaciones de carga eléctrica junto a generación de energía renovables. Sin embargo, la aplicación del

crédito considerando sólo los espacios de estacionamientos encaja dentro de la estructura de evaluación CES, donde un tercero revisa los antecedentes entregados.

6.7.5.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: INFRAESTRUCTURA DE CARGA Y REABASTECIMIENTO Y ELECTROLINERAS EN TERMINALES Y REFUGIOS AEROPORTUARIOS

Se propone un crédito voluntario en el que los proyectos de diseño y construcción de terminales de pasajeros o pequeños refugios aeroportuarios contemplen la instalación de infraestructura destinada a la carga y reabastecimiento de hidrógeno, así como electrolineras para vehículos eléctricos. Esta infraestructura estará orientada a vehículos de operación terrestre, vehículos de transporte interno y/o aeronaves impulsadas por hidrógeno o electricidad.

El objetivo de este requerimiento es asegurar la operación o futura operación de vehículos que utilicen hidrógeno o electricidad, facilitando de esta manera la transición hacia operaciones aeroportuarias bajas en carbono.

El alcance del requerimiento aplica para terminales y refugios aeroportuarios de cualquier escala, a lo largo de todo el país, incluyendo áreas de estacionamiento y acceso destinadas a vehículos de operación terrestre, aeronaves y servicios aeroportuarios internos.

Requerimientos:

Para cumplir con el requerimiento, el proyecto debe considerar al menos los siguientes puntos:

- La infraestructura de carga debe ser capaz de recibir al menos el 5% del combustible utilizado por dos tipos de operación (terrestre, transporte interno y/o aeronaves). Este cálculo se debe justificar mediante el estudio realizado en el requisito obligatorio en la Propuesta de requerimiento: Estudio de factibilidad de estaciones de cargas para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno
- Las instalaciones deben contar con conexiones adecuadas para recibir el suministro de hidrógeno desde fuentes externas, permitiendo una recarga eficiente y segura de los depósitos de almacenamiento en la terminal o refugio aeroportuario. Asimismo, deben incluir electrolineras equipadas con estaciones de carga de diferentes potencias que sean compatibles con diversos tipos de vehículos eléctricos. Para esto todas las estaciones diseñadas e instaladas deben cumplir con lo requerido en el Pliego técnico RIC N°15: especificaciones técnicas detalladas aplicables a la instalación y operación de estaciones de recarga
- Los espacios destinados a la infraestructura de carga deben diseñarse de forma segura y accesible, cumpliendo con las normativas de seguridad aplicables y permitiendo el acceso fácil para vehículos de operación terrestre, transporte interno y aeronaves. Según lo anterior los espacios deben cumplir lo estipulado en el Decreto 8/ 2019: Reglamento de Seguridad de las Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica, Pliego técnico RIC N°15: especificaciones técnicas detalladas aplicables a la instalación y operación de estaciones de recarga y la Resolución Exenta N°33.675, y/o la normativa vigente.
- La infraestructura debe contemplar la posibilidad de ampliaciones futuras en caso de aumento en la demanda de hidrógeno o electricidad. Esto puede incluir el diseño de espacios modulares para almacenamiento adicional o áreas de carga que permitan la expansión sin necesidad de modificaciones estructurales significativas. Estas ampliaciones deben considerar como base el estudio de factibilidad realizado en el requerimiento “Estudio de factibilidad de estaciones de cargas para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno”:
- La infraestructura debe cumplir con la ley general de servicios eléctricos, el Decreto 8/2019, el pliego técnico RIC N°15, la resolución exenta N°33.675, la Resolución Exenta N°23.900/2024, la Resolución Exenta N°26.339/2018, la Resolución Exenta 33.675, la Resolución Exenta Electrónica N° 10790/2022 y la Resolución Exenta Electrónica N° 12754/2022.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la

sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido al esquema existente de la certificación en donde entidades evaluadoras deben revisar la documentación realizada por proyectistas y asesores y que es posible que no cuenten con todas las aptitudes técnicas para evaluar proyectos de infraestructura de carga eléctrica.

6.7.5.4 PROPUESTA DE CRÉDITO: ESPACIOS PARA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE APLICACIONES DE HIDRÓGENO VERDE (H₂V) EN TERMINALES AEROPORTUARIOS

Se propone un crédito voluntario que incentive la creación de espacios dedicados a la investigación y desarrollo de aplicaciones relacionadas con el hidrógeno verde (H₂V) en terminales de pasajeros o refugios aeroportuarios. Este crédito busca fomentar la innovación tecnológica y científica en el ámbito del hidrógeno como combustible, facilitando la transición hacia operaciones aeroportuarias más sostenibles y bajas en carbono.

El objetivo de este requerimiento es fomentar que las terminales aeroportuarias dispongan de infraestructura adecuada para la investigación y pruebas relacionadas con el hidrógeno fortaleciendo la vinculación entre la investigación y la operación aeroportuaria y promoviendo el desarrollo de tecnologías y soluciones que permitan su implementación a gran escala en el transporte terrestre y aéreo.

El alcance de este requerimiento aplica a terminales y refugios aeroportuarios de cualquier escala, distribuidos en todo el país. Los espacios destinados deberán cumplir con las especificaciones mínimas establecidas para garantizar su funcionalidad como laboratorios de investigación.

Requerimientos:

Para cumplir con este crédito, el proyecto debe considerar al menos los siguientes puntos:

- Se debe realizar un estudio de factibilidad técnica de operación del laboratorio, considerando especialmente las purgas (eliminación controlada del exceso producido) de hidrógeno que se pueden realizar desde el laboratorio y sus implicancias en términos de seguridad y operación.
- Los laboratorios o espacios dedicados a la investigación deben tener una superficie útil mínima de 30 m².
- Los espacios deben contar con un sistema de inyección de aire fresco filtrado para garantizar la renovación continua del aire y mantener condiciones seguras y controladas dentro del laboratorio.
 - Las tasas de ventilación deben ser suficientes para diluir posibles fugas de hidrógeno a menos del 25% del límite inferior de inflamabilidad, que para hidrógeno es aproximadamente un 1% en volumen de aire.
 - En caso de utilizar ventilación pasiva, las aberturas de entrada deben ubicarse al nivel del suelo en paredes exteriores, y las de salida en el punto más alto de la sala, ya sea en paredes exteriores o en el techo. Estas aberturas deben tener un área mínima total de 0,003 m² por cada m³ del volumen de la sala.
 - La tasa de ventilación de aire fresco debe ser de 0,3 m³ por minuto por cada m² de espacio.
 - Los sistemas de ventilación deben operar de forma continua, incluso en emergencias, y deben evitar recircular aire contaminado con materiales inflamables o peligrosos.
 - El aire de escape de las campanas extractoras debe liberarse sobre el techo de manera que no entre en otras tomas de ventilación.
- Los laboratorios deben estar ubicados en el perímetro del edificio, facilitando el acceso directo desde el exterior y minimizando riesgos para las operaciones internas.

- Se debe contemplar un espacio exterior exclusivo para el almacenamiento de gases, incluyendo hidrógeno y otros gases necesarios para las actividades del laboratorio. Este espacio debe cumplir con las normativas de seguridad aplicables.
- Los laboratorios deben contar con conexiones de agua adecuadas para permitir la instalación de plantas de ósmosis u otros equipos que requieran agua para su funcionamiento.
- Los espacios deben estar equipados con un sistema de extracción de emergencia que permita la evacuación segura de gases en caso de fuga o situaciones de emergencia.
 - Los sistemas de escape deben mantener una presión negativa en los conductos para evitar la acumulación de hidrógeno en el interior.
 - Los sistemas deben evitar la acumulación de hidrógeno en áreas confinadas como espacios altos bajo techos, cavidades entre vigas, techos suspendidos, drenajes cerrados o recintos sellados.
- Los laboratorios deben estar ubicados lejos de bodegas de combustibles, recintos térmicos u otros recintos que almacenen productos inflamables o generen calor, garantizando un entorno seguro para el manejo de hidrógeno.
- Los laboratorios deben contar con detectores de gas y/o llama para hidrógeno, ubicados estratégicamente para detectar fugas de manera temprana. El número y la distribución de los detectores deben basarse en factores como tasas de fuga, tasas de ventilación y volumen del espacio.
- Para el estudio, diseño y construcción, se deben considerar los criterios de diseño expuestos en los siguientes documentos:
 - ANSI/AIHA Z9.5 Laboratory Ventilation
 - G-095, ANSI/AIAA Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems
 - CGA G-5, Hydrogen
 - CGA G-5.4 - Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations
 - CGA G-5.5 - Standard for Hydrogen Vent Systems
 - ISO/TR 15916 – Basic considerations for the safety of hydrogen systems
 - ISO 19880-1 – Gaseous hydrogen – Fueling stations – Part 1: General Requirements
 - ISO 22734 – Hydrogen generators using water electrolysis — Industrial, commercial, and residential applications
 - NFPA 853 – Standard for the Installation of Stationary Fuel Cell Power Systems
 - IEC 62282-3-100 – Fuel cell technologies - Part 3-100: Stationary fuel cell power systems - Safety
 - NFPA 45, Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals
 - NFPA 91, Standard for Exhaust Systems for Air Conveying of Vapors

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido al esquema existente de la certificación en donde entidades evaluadoras deben revisar la

documentación realizada por proyectistas y asesores y que es posible que no cuenten con todas las aptitudes técnicas para evaluar proyectos de generación de hidrogeno verde.

6.7.5.5 PROPUESTA DE CRÉDITO: ESPACIOS PARA ALMACENAMIENTO Y OPERACIÓN DE UNIDADES DE POTENCIA TERRESTRE DE HIDROGENO (H₂-GPU) EN TERMINALES AEROPORTUARIAS

Se propone un crédito voluntario que incentive la creación de espacios destinados al almacenamiento, operación y mantenimiento de unidades de potencia terrestre basadas en hidrogeno en terminales aeroportuarias. Este crédito busca fomentar la transición hacia operaciones aeroportuarias más sostenibles y bajas en carbono, promoviendo la utilización de tecnologías innovadoras de hidrogeno para reducir las emisiones en tierra.

El objetivo del crédito es facilitar la adopción de GPUs alimentadas con hidrogeno como alternativa sostenible a los sistemas tradicionales a diésel o GPUs eléctricas de capacidad limitada, permitiendo una transición efectiva hacia operaciones aeroportuarias cero emisiones. Este crédito apoyará la instalación de infraestructuras adecuadas para el almacenamiento seguro de hidrogeno y la operación eficiente de H₂-GPU.

El crédito aplica a terminales aeroportuarias de cualquier escala en todo el país. Los espacios destinados al almacenamiento y operación de H₂-GPU deberán cumplir con especificaciones mínimas de seguridad y funcionalidad, promoviendo la innovación y la sostenibilidad operacional.

Requerimientos:

Para cumplir con este crédito, los proyectos deben considerar los siguientes puntos:

- Realizar un estudio de factibilidad técnica para la operación de H₂-GPU, evaluando las necesidades de almacenamiento de hidrogeno, las condiciones de seguridad requeridas y los impactos potenciales en las operaciones aeroportuarias. El estudio debe tener como base el estudio de factibilidad realizado en el requerimiento “Estudio de factibilidad de estaciones de cargas para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno”:
- Diseñar un espacio de almacenamiento ubicado en el exterior y alejado de áreas de alta densidad de personas y operaciones críticas.
- El espacio debe cumplir con las normativas internacionales de seguridad aplicables ISO 19880-1:2022 y NFPA 2 (Hydrogen Technologies Code) y/o la normativa vigente.
- Garantizar que las áreas de almacenamiento y operación cuenten con sistemas de ventilación adecuados para prevenir la acumulación de hidrogeno. Las tasas de ventilación deben ser suficientes para diluir posibles fugas de hidrógeno a menos del 25% del límite inferior de inflamabilidad, que para hidrógeno es aproximadamente un 1% en volumen de aire.
- Implementar sistemas de detección de fugas de gas y de llamas.
- Ubicar los espacios de almacenamiento y operación lejos de bodegas de combustibles, recintos térmicos u otros espacios que almacenen materiales inflamables (separados por al menos 20 metros lineales entre sus muros).
- Considerar las siguientes normativas y estándares:
 - ISO/TR 15916 – Basic considerations for the safety of hydrogen systems.
 - ISO 19880-1 – Gaseous hydrogen – Fueling stations – Part 1: General Requirements.
 - NFPA 2 – Hydrogen Technologies Code.
 - NFPA 45 – Standard on Fire Protection for Laboratories Using Chemicals.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido al esquema existente de la certificación en donde entidades evaluadoras deben revisar la documentación realizada por proyectistas y asesores y que es posible que no cuenten con todas las aptitudes técnicas para evaluar proyectos de almacenamiento de sistemas de unidades de potencia.

6.7.5.6 PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO ESCALABLE DE INFRAESTRUCTURA DE CARGA ELÉCTRICA

Se propone un crédito voluntario, en el que todo proyecto que incluya la construcción de terminales aeroportuarias o pequeños refugios de pasajeros considere el diseño escalable y sostenible de infraestructura de carga eléctrica para vehículos eléctricos.

La definición de este crédito es que mediante un diseño técnico se planifiquen estaciones de carga rápida y convencional en ubicaciones estratégicas dentro del recinto aeroportuario, priorizando la integración de fuentes de energía renovable como paneles solares y sistemas eólicos para su alimentación. Este diseño también debe contemplar la compatibilidad con diferentes modelos de vehículos eléctricos y la posibilidad de futuras expansiones, así como la integración de tecnologías avanzadas de almacenamiento, como baterías Iron Flow.

El objetivo de este crédito es establecer las condiciones necesarias para una futura operación eficiente y sostenible de infraestructura de carga. El alcance del crédito aplica para terminales de aeropuertos y refugios aeroportuarios de cualquier escala a lo largo de todo el país.

Requerimientos:

Para que el proyecto cumpla con el crédito, el proyecto debe contener al menos el diseño de una infraestructura que incluya los siguientes puntos:

- El diseño debe identificar y fundamentar mediante un informe técnico aquellas áreas específicas dentro del recinto aeroportuario que permitan la instalación eficiente de estaciones de carga y aquellas que no. Dentro del estudio se debe indicar las condiciones que permiten que estas áreas estén diseñadas para la expansión de la infraestructura de carga eléctrica a medida que crezca la adopción de vehículos eléctricos.
- En un análisis técnico se debe evaluar la viabilidad de integrar paneles solares, sistemas eólicos, biodigestores, termocambiador geotérmico u otros sistemas de energía renovables que alimenten a las estaciones de carga. Salvo que el estudio de factibilidad indique lo contrario, al menos el 40% de la energía utilizada por las estaciones debe provenir de sistemas renovables asociados al proyecto.
- El diseño debe considerar un análisis de la adopción futura de vehículos eléctricos en el entorno aeroportuario, incluyendo vehículos de soporte terrestre, transporte de pasajeros y vehículos privados lo que debe quedar evidenciado en informes técnicos. El informe debe contener una proyección de al menos:
 - Tipos de vehículos: vehículos de soporte terrestre, transporte de pasajeros y vehículos privados.
 - Espacio requerido: planificación para acomodar diferentes tipos y tamaños de vehículos eléctricos.
 - Potencia necesaria: garantizar tiempos de carga adecuados mediante la instalación de infraestructura que soporte diferentes niveles de potencia (rápida y convencional).
- El diseño debe evaluar la integración de baterías Iron Flow o tecnologías equivalentes, que ofrezcan almacenamiento energético eficiente.
- Las estaciones de carga deben cumplir con todas las normativas aplicables para garantizar su seguridad, eficiencia y calidad, incluyendo:

- Ley General de Servicios Eléctricos.
- Decreto 8/2019: regulación específica para sistemas eléctricos.
- Pliego técnico RIC N°15: especificaciones técnicas para infraestructura eléctrica.
- Resolución exenta N°33.675: regulación de estaciones de carga.
- Resolución exenta N°23.900/2024: estándares técnicos de instalaciones eléctricas.
- Resolución exenta N°26.339/2018: reglas para la seguridad eléctrica.
- Resoluciones Electrónicas N°10790/2022 y N°12754/2022: normas específicas sobre sistemas eléctricos y de recarga.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido al esquema existente de la certificación en donde entidades evaluadoras deben revisar la documentación realizada por proyectistas y asesores y que es posible que no cuenten con todas las aptitudes técnicas para evaluar proyectos de infraestructura de carga eléctrica.

6.7.5.7 PROPUESTA DE CRÉDITO: OPTIMIZACIÓN DE RUTAS Y ESPACIOS OPERATIVOS PARA TERMINALES AEROPORTUARIOS Y REFUGIOS DE PASAJEROS

Se propone un crédito voluntario para proyectos que incluyan el diseño y construcción de terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros de cualquier escala. Este crédito busca establecer las condiciones necesarias para la futura operación eficiente y sustentable de vehículos eléctricos, centrándose en la optimización de rutas, espacios operativos y zonas exclusivas de carga y mantenimiento.

El crédito contempla el diseño y planificación de caminos, espacios y zonas dedicadas a vehículos eléctricos dentro de los terminales y refugios. El objetivo es garantizar la eficiencia y seguridad en la circulación, así como prever espacios adecuados para las actividades de carga y mantenimiento de estos vehículos. El diseño debe priorizar criterios de sostenibilidad, asegurando que las condiciones sean compatibles con futuras operaciones de vehículos de bajas emisiones.

El objetivo del crédito es determinar las especificaciones técnicas y espaciales que permitan optimizar la circulación, carga y mantenimiento de vehículos eléctricos en el entorno de terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros, contribuyendo a una infraestructura sustentable desde la etapa de diseño y construcción.

Para que el proyecto cumpla con el requerimiento, el diseño debe incluir al menos uno de los siguientes elementos:

1. Diseño de caminos seguros y eficientes:
 - o Las rutas deben minimizar congestiones en las áreas de circulación vehicular, priorizando flujos ordenados y seguros, lo que se validará mediante estudios técnicos y la proyección de vehículos realizado en Propuesta de requerimiento: Estudio de factibilidad de estaciones de cargas para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno.
 - o Las vías deben incluir señalización clara y elementos que faciliten el tránsito de vehículos eléctricos, como señalización en cruces principales indicando el lugar de las estaciones de carga.
2. Accesos exclusivos para carga y estacionamiento:

- Habilitación de accesos específicas para la carga de vehículos eléctricos, con acceso directo desde a las principales rutas del proyecto (rutas directas al acceso o cómo máximo a 50 metros de distancia lineal a estacionamientos de movilidad reducida).
- Diseño de espacios dedicados al mantenimiento de vehículos eléctricos, ubicados en áreas de fácil acceso y conectadas a las rutas principales.
- El diseño de rutas debe ser coordinado con la ubicación de las estaciones de carga y facilitar el acceso y salida de los vehículos de los estacionamientos. Para demostrar este diseño el vehículo no debe recorrer más de un 15% del total de rutas para acceder o salir del estacionamiento.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.7.5.8 PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO RESILIENTE DE SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA TERMINALES AEROPORTUARIOS Y REFUGIOS DE PASAJEROS

Se propone un crédito voluntario para el diseño y construcción de sistemas energéticos resilientes en terminales aeroportuarias, refugios de pasajeros y pequeños aeródromos, asegurando su capacidad para satisfacer necesidades operativas actuales y futuras, particularmente en condiciones de expansión, emergencias o climatología extrema.

El objetivo de este crédito es diseñar y construir sistemas energéticos resilientes, eficientes y flexibles. Estos sistemas deberán soportar operaciones críticas durante emergencias, garantizar la eficiencia energética en las operaciones cotidianas y facilitar la integración de tecnologías emergentes y energías renovables. El diseño debe permitir adaptaciones futuras, favoreciendo expansiones a otras infraestructuras públicas que se conecten con los recintos aeroportuarios.

El alcance de este requerimiento incluye todas las instalaciones aeroportuarias y refugios de pasajeros a nivel nacional, tanto en zonas urbanas como rurales. Se considera la implementación de conexiones eléctricas, sistemas de monitoreo y diseños escalables en todas las áreas operativas críticas.

Requerimientos:

Para que el proyecto cumpla con el crédito, el diseño debe contemplar, al menos, dos de los siguientes puntos:

1. Preparación de conexiones eléctricas estratégicas:
 - Diseñar e instalar conexiones eléctricas redundantes (al menos dos) para garantizar el funcionamiento continuo de sistemas críticos como climatización, iluminación de emergencia, sistemas de control de accesos, gestión de equipaje y consumo de agua.
 - Las conexiones y fuentes energéticas deberán estar diseñadas para soportar cargas de alta demanda energética (según el estudio realizado en el requerimiento “Estudio de factibilidad de estaciones de cargas para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno”), con redundancia que permita la operación ininterrumpida ante fallas de suministro o emergencias climáticas.
 - Ubicar las conexiones eléctricas en puntos estratégicos de fácil acceso, permitiendo su expansión modular o adaptación a tecnologías renovables, como paneles solares o pequeñas turbinas eólicas, y sistemas de almacenamiento energético para mitigar variaciones en el suministro.
2. Sistemas de monitoreo en tiempo real:
 - Diseñar (Precertificación) e Implementar (Certificación) sistemas de monitoreo energético y agua en tiempo real que permitan:

- Medir el consumo de electricidad, climatización y agua de manera eficiente.
 - Identificar “peaks” de demanda en horarios críticos.
 - Asegurar la interoperabilidad con fuentes de energía renovable, permitiendo la transición hacia sistemas sostenibles y mitigando riesgos ante cortes de energía prolongados.
3. Diseño modular y escalable:
- Diseñar sistemas energéticos modulares y escalables, que permitan:
 - La expansión gradual en función del crecimiento del aeropuerto, nuevas demandas de infraestructura o tecnologías futuras.
 - Integración con soluciones de almacenamiento energético, como baterías de alta capacidad, para garantizar el suministro en operaciones críticas durante cortes inesperados.
 - Prever la adaptabilidad del diseño para permitir actualizaciones tecnológicas sin interrupciones significativas en las operaciones.
 - Incorporar soluciones que respondan a climatología extrema (por ejemplo, protección de sistemas ante sobrecalentamiento, congelamiento o alta humedad).

Toda la infraestructura energética propuesta debe cumplir con normas internacionales y locales, destacando los lineamientos de la IATA y OACI en materia de eficiencia y seguridad operativa. Los proyectos deben contemplar soluciones resilientes y sostenibles que puedan aplicarse tanto en aeropuertos grandes como en pequeños aeródromos ubicados en zonas remotas, adaptándose a las necesidades climáticas y operativas particulares de cada región.

Condiciones de evaluación

1. Fase de precertificación (diseño):
 - Se deberá presentar la documentación técnica que incluya planos, memorias de cálculo, especificaciones de sistemas energéticos y análisis de redundancia y escalabilidad.
 - Se verificará que el diseño contemple al menos dos de los requerimientos definidos (conexiones eléctricas, monitoreo o diseño modular) y que los sistemas propuestos sean compatibles con energías renovables y almacenamiento energético.
 - Se evaluará la integración de soluciones en escenarios de climatología extrema y operaciones críticas.
 - Todo lo anterior se debe encontrar respaldados con informes, memorias de cálculo y fichas técnicas.
2. Fase de certificación final (construcción):
 - Durante la ejecución del proyecto, se debe llevar un registro documental y fotográfico para verificar la implementación de los sistemas energéticos conforme a los diseños aprobados.
 - Se exigirá evidencia de pruebas funcionales que validen la resiliencia y eficiencia de los sistemas instalados, incluyendo pruebas de carga, simulaciones de emergencia y monitoreo en tiempo real.
 - Se evaluará la capacidad de los sistemas para operar bajo condiciones climáticas extremas y garantizar la continuidad operacional.
 - Se deben presentar facturas, guías de despacho, informes de instalación o informes con registros fotográficos sobre la instalación y prueba de todos los sistemas.

Toda la infraestructura energética propuesta debe cumplir con normas internacionales y locales, destacando los lineamientos de la IATA y OACI en materia de eficiencia y seguridad operativa. Los proyectos deben contemplar soluciones resilientes y sostenibles que puedan aplicarse tanto en aeropuertos grandes como en pequeños aeródromos ubicados en zonas remotas, adaptándose a las necesidades climáticas y operativas particulares de cada región.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido al esquema existente de la certificación en donde entidades evaluadoras deben revisar la documentación realizada por proyectistas y asesores y que es posible que no cuenten con todas las aptitudes técnicas para evaluar proyectos eléctricos resilientes.

6.7.6 Propuestas técnicas para herramienta CES subetapa 9.2 Net Zero

6.7.6.1 PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO ENERGÉTICO NET ZERO

Se propone un requerimiento voluntario que reconozca a los terminales aeroportuarios que alcancen un balance energético neto igual a cero. Este balance debe incluir los consumos asociados a climatización, iluminación y otros artefactos eléctricos, proyectados durante un año operativo completo.

El objetivo de este crédito es fomentar el diseño y operación de terminales aeroportuarios eficientes que alcancen Net Zero en materia energética mediante la generación de energía a partir de fuentes renovables en el lugar, y la reducción significativa de su consumo energético mediante medidas de eficiencia activas y pasivas.

El alcance de este crédito se aplica a terminales aeroportuarios y aeródromos de cualquier escala, y se clasifica en niveles de cumplimiento según si alcanza la condición de Net Zero. El edificio deberá contemplar la misma ocupación utilizada para realizar los cálculos de reducción de demanda y consumo energético.

Requerimientos

El cumplimiento de este requerimiento se evaluará de manera binaria según las siguientes opciones:

- Cumple: El terminal aeroportuario ha alcanzado Net Zero Energía, generando al menos la misma cantidad de energía que consume a partir de fuentes renovables y compensando todo su consumo energético proyectado, incluido climatización, iluminación y artefactos según los cálculos realizados para la variable de reducción de consumo energético.
- No cumple: El terminal no alcanza Net Zero Energía, porque el consumo energético no ha sido completamente compensado por la generación de energía renovable.

Condiciones de evaluación

El cumplimiento del crédito se evaluará de manera binaria. Se considerará que un terminal aeroportuario cumple con los requisitos cuando haya demostrado, mediante la documentación presentada y las verificaciones realizadas, que ha alcanzado un balance energético neto igual a cero. Esto implica que el consumo energético proyectado del terminal o refugio aeroportuario en el crédito de reducción de consumo energético ha sido completamente compensado mediante la generación de energía renovable in situ.

Todos los cálculos y modelaciones deben ajustarse a las condiciones climáticas locales y a los patrones de ocupación del edificio, asegurando que los resultados reflejen de manera precisa las condiciones reales de operación del edificio.

La etapa de precertificación se enfocará únicamente en la validación del diseño del terminal o refugio aeroportuario. En esta fase, será necesario presentar memorias y simulaciones energéticas que respalden los resultados esperados. La modelación debe ser realizada utilizando programas de simulación reconocidos, como IES Virtual Environment, EnergyPlus o

DesignBuilder, asegurando que los cálculos reflejen los consumos energéticos esperados y las capacidades de generación renovable previstas.

En la etapa de certificación, será necesario validar que las instalaciones proyectadas hayan sido implementadas correctamente y que las compensaciones externas efectivamente se hayan realizado. Esta validación incluirá la revisión de facturas de compra de los equipos de generación renovable, guías de despacho y recepción de los equipos, y reportes de funcionamiento y producción energética.

El informe técnico que detalla la generación de energía renovable debe proporcionar una descripción técnica detallada de los sistemas implementados en el proyecto. Deben incluir la información acerca de la tecnología utilizada, como sistemas fotovoltaicos, eólicos o de biomasa, especificando las capacidades instaladas y la proyección de la producción energética a lo largo del año. La descripción debe considerar las condiciones locales, como la radiación solar, los vientos predominantes o la disponibilidad de biomasa desde fuentes validadas por el Ministerio de Energía como la que es obtenida del Explorador Solar, explorado eólico, planificación energética a largo plazo, planes estratégicos de energía regionales, estrategias de energía locales, infraestructuras de datos espaciales o realizar simulaciones y cálculos con software especiales y datos de climas validados por CES o generados según metodología ISO 15927-4 con información obtenida por estaciones inscritas en la WMO, asegurando que los cálculos reflejen las condiciones reales de operación.

Para la evaluación del cumplimiento de este crédito, los proyectos de energía renovable deben demostrar una capacidad instalada suficiente para compensar el consumo energético proyectado a lo largo de un año operativo completo.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.7.6.2 PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO NET ZERO RESIDUOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Este crédito propone reconocer a los terminales aeroportuarios que logren un balance neto cero de residuos durante la fase de construcción. Esto incluye la implementación de estrategias para minimizar la generación de residuos y garantizar su correcta gestión mediante reutilización, reciclaje o compostaje.

El objetivo de este crédito es fomentar prácticas de construcción responsables que reduzcan significativamente el impacto ambiental de los residuos sólidos no peligrosos, promoviendo un modelo de economía circular en el sector de la construcción.

El alcance de este crédito aplica a terminales aeroportuarios de cualquier escala y evalúa el desempeño del proyecto durante la fase de construcción.

Requerimientos

El cumplimiento de este requerimiento se evaluará de manera binaria según las siguientes opciones:

- **Cumple:** Se logra un promedio ponderado por peso de desvío del 90% o más de los residuos sólidos no peligrosos generados en la construcción hacia reciclaje, reutilización o recuperación, en ningún caso estos tipos de residuos deben enviarse hacia vertederos o incineradores.
- **No cumple:** No se alcanza el promedio ponderado por peso de desvío del 90%.

Para validar el cumplimiento, se deberá presentar:

- Un plan de manejo de residuos que documente estrategias de reducción, reciclaje y reutilización.
- Registros de generación y disposición final de residuos, validado la trazabilidad por la empresa autorizada y/o la autoridad competente.

Para la evaluación del cumplimiento de este crédito, los proyectos deben implementar programas de reciclaje y compostaje, además de un plan de gestión de residuos desde la etapa de diseño del edificio. Se debe incluir un sistema de clasificación de residuos, estaciones de reciclaje y compostaje, y recolección de residuos peligrosos para su tratamiento. Además, se debe generar un informe de la reducción en el volumen de residuos generados y su correcta gestión mediante reciclaje, reutilización o compostaje a lo largo de un año de operación. En el caso del reciclaje se debe indicar el destino según lo indicado por la ley 20920, en el caso del compostaje la composta obtenida puede ser entregada a agricultores o comunidades locales.

6.7.6.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO NET ZERO AGUA SEGÚN DISEÑO

Este crédito propone reconocer terminales aeroportuarios diseñados para alcanzar un balance neto cero o positivo de agua potable. Esto se logra mediante la reducción del consumo de agua potable y el uso de fuentes alternativas de agua medido durante todo un año.

El objetivo de este crédito es promover diseños que reduzcan la dependencia de agua potable y optimicen el uso de recursos hídricos alternativos en la operación del terminal aeroportuario.

El alcance de este crédito aplica a la fase de diseño del proyecto y considera todas las estrategias relacionadas con el ciclo del agua dentro del edificio y el sitio.

Requerimientos

El cumplimiento de este requerimiento se evaluará de manera binaria según las siguientes opciones:

- Cumple: El diseño demuestra que el balance neto cero de agua potable puede lograrse considerando el consumo proyectado y el uso de fuentes alternativas (agua reciclada, desalinizada, de lluvia o tratada).
- No cumple: El diseño no logra demostrar un balance neto cero de agua potable.

Para validar el cumplimiento, se deberán presentar:

- Cálculos de balance hídrico que incluyan el cálculo de consumo proyectado y disponibilidad de fuentes alternativas.
- Planos y especificaciones que describan los sistemas implementados.
- Memoria de cálculo, y mediciones que validen el balance neto cero de agua potable durante un año.

Para la evaluación del cumplimiento de este crédito, los proyectos deben demostrar la implementación de sistemas de recolección de aguas lluvia, reutilización de aguas grises y la instalación de tecnología de bajo consumo de agua, como griferías eficientes y sistemas de tratamiento de aguas residuales, suficientes para cubrir el consumo de agua potable a lo largo de un año operativo.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.7.6.4 PROPUESTA DE CRÉDITO: ALCANZAR RENDIMIENTO NET ZERO CARBONO EN CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DEL TERMINAL

Este crédito reconoce terminales y refugios aeroportuarios que logren un balance neto cero de carbono durante la construcción y operación del edificio terminal, excluyendo las operaciones de aeronaves.

El objetivo de este crédito es incentivar la reducción de emisiones de carbono en la construcción y operación mediante estrategias de diseño eficiente, uso de energías renovables y materiales con bajo impacto de carbono.

El alcance de este crédito aplica exclusivamente al edificio terminal y refugios de pasajeros, donde se evalúa tanto las emisiones operativas como las incorporadas en los materiales de construcción.

Requerimientos

Para cumplir con el crédito el proyecto debe demostrar:

- Durante la construcción:
 - Reducción del carbono incorporado en materiales estructurales en al menos un 10% respecto a utilizar materiales de referencia.
 - Compensación de todas las emisiones generadas en las etapas del ciclo de vida A1 a A5 mediante materiales que capturen carbono o compensaciones verificadas.
- Durante la operación:
 - Reducción de la intensidad de uso energético (EUI) en al menos un 40% respecto a un edificio de referencia equivalente.
 - El 100% del consumo energético es abastecido por energía renovable in situ o fuera del sitio.
 - Compensación de todas las emisiones generadas en las etapas del ciclo de vida B1 y B7 mediante el uso de energías renovables y recolección de agua.

El cumplimiento de este requerimiento se evaluará según las siguientes opciones:

- Muy bueno: El terminal o refugio aeroportuario ha alcanzado Net Zero carbono para las etapas de construcción (A1-A5) y operación (B1 y B6).
- Bueno: El terminal o refugio aeroportuario ha alcanzado Net Zero carbono para la etapa de construcción (A1-A5) o la etapa de operación (B1 y B6).
- No cumple: El terminal o refugio aeroportuario no ha alcanzado Net Zero carbono en ninguna de sus etapas.

Cumplir con este crédito en nivel Bueno significa cumplir con los requerimientos propuestos en 6.3.8.1 y 6.3.8.5 según corresponda a las etapas de construcción u operación, cumplir este requerimiento en nivel Muy Bueno significa cumplir con ambos.

Para validar el cumplimiento de esta variable se debe presentar la siguiente información técnica:

- Análisis de ciclo de vida (LCA) para cuantificar el carbono incorporado y las reducciones logradas. Este análisis debe presentarse en una memoria técnica utilizando metodologías reconocidas y validadas para calcular las emisiones de carbono asociadas a la construcción, con un enfoque en el ciclo completo asociado la construcción (etapas A1-A5) y a la operación (etapas B1 y B6) por separado. Las metodologías aceptadas son las expuestas en la Norma EN 15978, ISO 14067, Estándar RICS: Publicado por el Royal Institution Chartered Surveyors (RICS) y GHG Protocol.
- El cálculo de la huella y compensaciones de carbono debe presentarse en memorias de cálculo en donde se demuestren todos los materiales y cálculos ya sea utilizando las metodologías descritas anteriormente o utilizando herramientas validadas como lo son One Click LCA, Huella Chile, Rukaru o cualquier otra herramienta que utilice de manera validada por alguna institución gubernamental nacional o internacional las metodologías anteriores (para este caso la herramienta debe ser validada por la entidad administradora de CES).
- Certificados de compensación de carbono aprobados por terceros.
- Medición del balance energético y documentación de fuentes de energía renovable utilizadas.

- En el apéndice 1 de la entrega subetapa 9.2 se pueden observar definiciones y estrategias para cumplir con este crédito.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.7.6.5 PROPUESTA DE CRÉDITO: MEDICIÓN DE ENERGÍA Y AGUA EN TERMINALES DE PASAJEROS

Indicador: Medición diferenciada de recursos energéticos y hídricos en terminales y refugios de pasajeros de aeropuertos.

Ámbito: Edificios de terminales y refugios de pasajeros (excluye hangares, pistas, estacionamientos y áreas de carga).

Definición: Este crédito reconoce el cumplimiento progresivo de requisitos para la medición y monitoreo de los consumos de electricidad, gas, diésel y agua potable utilizados exclusivamente en las instalaciones fijas del edificio de terminales de pasajeros. Se consideran tanto sistemas de mediciones convencionales como alternativas basadas en análisis de red.

Objetivo: Facilitar la gestión operativa y la identificación de oportunidades de eficiencia mediante la instalación de sistemas que permitan conocer, registrar y desagregar el consumo de energía y agua en el terminal de pasajeros, con una lectura mínima horaria y trazabilidad desde la etapa de diseño hasta la operación.

Condiciones de evaluación: Se reconocen las siguientes opciones de cumplimiento según el tipo de recurso y el criterio de desagregación utilizado. Cada opción puede implementarse de forma independiente o complementaria para alcanzar un mayor nivel de cumplimiento.

Opción 1: Medición de energía eléctrica

La medición de electricidad se puede realizar mediante dos métodos y dos herramientas.

Método 1: Medición por tipología de recintos

Consiste en identificar el consumo de electricidad por zonas específicas del terminal o refugio de pasajeros. Estas zonas pueden incluir salas de embarque, retiro de equipajes, áreas de espera, zonas de circulación, oficinas administrativas, servicios sanitarios y zonas comerciales. Esta opción permite evaluar la eficiencia por área

Método 2: Medición por grupos

En lugar de segmentar por recinto, este método considera la medición diferenciada de los principales grupos de consumo eléctrico: iluminación, climatización (HVAC), y fuerza (todos los demás equipos, como enchufes, ascensores, puertas automáticas, etc.).

Herramienta 1: Medición mediante medidores directos diferenciados

Este método consiste en instalar medidores individuales que registran el consumo eléctrico de forma separada según zonas o circuitos específicos del edificio. Los medidores deben contar con las siguientes características:

- Cada medidor deberá registrar energía de forma acumulativa, con capacidad de lectura horaria, diaria, mensual y anual.
- Los dispositivos deberán contar con memoria interna con capacidad de almacenamiento mínimo de 24 meses.
- Todos los medidores deberán tener una precisión mínima de clase 1 (IEC 62053-21).

Método 2: Medición mediante analizadores y desagregación de energía

Utilizar una solución de medición basada en desagregación energética, que permita atribuir el consumo total de energía eléctrica del edificio a distintos usos o categorías de carga sin la necesidad de instalar medidores individuales por equipo o sistema.

- La solución deberá utilizar una combinación de algoritmos de desagregación y modelos basados en reglas locales, permitiendo alcanzar un nivel de itemización del 100% del consumo energético registrado.
- El sistema deberá ser compatible con distintas resoluciones de datos, con capacidad de análisis horaria, diaria, mensual y anual.
- El sistema debe contar con capacidad de almacenar datos por al menos 24 meses.
- La tecnología deberá considerar variables contextuales estacionalidad, tipo de energía utilizada, y otros atributos del usuario para mejorar la precisión del desglose.
- El modelo deberá permitir la asignación del consumo a categorías tales como climatización, calefacción, agua caliente, refrigeración, cocina, iluminación, entretenimiento, lavandería, consumo permanente y otros.

Opción 2: Medición de consumo de agua

Método 1: Medición por tipología de recintos

Medir el consumo de agua potable de forma diferenciada según zonas específicas dentro del terminal o refugio de pasajeros. Estas zonas pueden incluir servicios sanitarios, áreas de preparación de alimentos, zonas de limpieza, oficinas administrativas y sectores comunes. La medición por recinto permite vincular el consumo hídrico con funciones espaciales específicas, facilitando comparaciones entre áreas y detectando oportunidades de mejora en zonas con alto uso o bajo rendimiento en eficiencia hídrica.

Método 2: Medición por tipo de uso

Medir el consumo de agua potable de forma diferenciada según uso específicas dentro del terminal o refugio de pasajeros. Entre los usos considerados se encuentran:

- Sanitarios y grifería general.
- Preparación de alimentos.
- Limpieza.
- Uso general o indefinido, asociado a consumos distribuidos no atribuibles directamente a una función específica.

Opción 3: Medición de consumo de gas

Método 1: Medición por tipología de recintos

Medir el consumo de gas de forma diferenciada según zonas específicas dentro del terminal o refugio de pasajeros. Estas zonas pueden incluir cocinas o cafeterías, áreas de climatización, espacios técnicos, servicios sanitarios, y zonas de respaldo energético. La medición por recinto permite asociar el uso del gas con espacios específicos del edificio, facilitando la identificación de patrones de consumo y posibles focos de ineficiencia en determinadas áreas operativas.

Método 2: Medición por tipo de uso

Medir el consumo de gas de forma diferenciada según usos específicos dentro del terminal o refugio de pasajeros. Entre los usos considerados se encuentran:

- Preparación de alimentos.
- Calefacción de espacios.
- Generación de electricidad o respaldo energético (grupos electrógenos u otros sistemas de contingencia)
- Calentamiento de agua.

Opción 4: Medición de consumo de combustibles fósiles

Medir el consumo de combustibles fósiles de forma diferenciada según usos específicos dentro del terminal o refugio de pasajeros. Entre los usos considerados se encuentran:

- Preparación de alimentos.
- Calefacción de espacios.
- Generación de electricidad o respaldo energético (grupos electrógenos u otros sistemas de contingencia)
- Calentamiento de agua.

Niveles de cumplimiento

Este crédito se puede cumplir según el número de variables que se midan, a continuación, se detalla el número de variables medidas y el nivel alcanzado.

Tabla 6-43: Niveles de cumplimiento medición de variables

Cantidad de variables medidas	Nivel
Cuatro variables	Sobresaliente
Tres variables	Muy Bueno
Dos variables	Bueno
Una variable	Aceptable

Fuente: Elaboración propia.

Antecedentes de validación

Durante la etapa de precertificación, se debe asegurar la previsión de infraestructura y estrategia de monitoreo. Esto implica incluir desde planos eléctricos e hidráulicos la definición de circuitos y tramos que permitan realizar la desagregación según recintos o usos.

Por ejemplo, los tableros eléctricos deben estar organizados para alimentar zonas o sistemas específicos (como HVAC, iluminación, fuerza) de manera que la instalación de medidores diferenciados resulte viable y sin reconfiguración posterior. Asimismo, las redes de agua, gas y diésel deben considerar ramales y válvulas con posibilidad de individualización.

Para las soluciones basadas en desagregación energética, debe contemplarse el espacio físico y la conectividad necesarios para instalar sensores, analizadores y controladores compatibles con algoritmos avanzados. Las memorias técnicas deben detallar las exigencias de precisión de los medidores y protocolos de comunicación.

En la etapa de certificación, se debe verificar en terreno que los medidores están instalados de forma permanente, asociados a las zonas o usos definidos, y que cumplen con los parámetros técnicos exigidos. Esto incluye revisar la funcionalidad de sistemas de almacenamiento de datos, la correcta calibración de equipos, y la accesibilidad para la lectura o descarga de la información.

En caso de utilizar herramientas de desagregación por inteligencia artificial, se debe confirmar la instalación de analizadores eléctricos, la activación del sistema y su capacidad para procesar variables contextuales como estacionalidad o patrones de uso. En esta etapa se deben presentar todas las facturas o guía de despacho que acrediten la compra de los equipos instalados, además de toda la información técnica.

En la etapa de sello plus, aunque en menor proporción, se validará la continuidad

6.8 SUBETAPA 9.3: DESARROLLO ESTUDIO CAMBIO CLIMÁTICO, INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL, Y ESTUDIO VARIABLE SOCIAL EN CERTIFICACIÓN SUSTENTABLE Y APLICACIÓN DE CASOS PRÁCTICO AEROPORTUARIO

6.8.1 Objetivos subetapa 9.3

Desarrollar una investigación sobre referentes nacionales e internacionales de las variables declaradas en este documento, respecto de proyectos públicos (recintos de salud, edificios gubernamentales, edificios académicos, entre otros) y de aeropuertos, para luego analizarlos y concluir en requerimientos, créditos y metodologías específicas para una certificación sustentable de aeropuertos.

Este objetivo busca establecer las bases para el desarrollo de una certificación sustentable específica para terminales y refugios de pasajeros de aeropuertos, un sector con impactos ambientales significativos y necesidades operativas únicas. Al investigar y analizar referentes nacionales e internacionales, se identificarán prácticas efectivas y adaptables que permitan crear requerimientos y créditos alineados con estándares globales y las características del contexto local. Esto no solo impulsará la sostenibilidad en el diseño, construcción y operación de aeropuertos, sino que también contribuirá a mejorar la calidad ambiental, la eficiencia energética y la resiliencia de estos proyectos estratégicos.

6.8.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisión Normativa y Comparativa Internacional: Realizar una revisión de la normativa y reglamentación vigente en Chile relacionada con cambio climático, infraestructura verde y azul, y variable social. Este análisis permitirá identificar estrategias viables para su implementación y revelar las posibles brechas existentes. Además, se realizará

una investigación a nivel internacional, con el objetivo de recopilar información sobre estrategias adoptadas, marcos regulatorios nacionales y sistemas de certificación.

- Revisión de casos internacionales: Realizar una descripción de casos internacionales a aeropuertos, que destaquen estrategias exitosas de cambio climático, infraestructura verde y azul, y variable social.
- Propuesta de requisitos al sistema de certificación CES para aeropuertos y refugios: Desarrollar propuesta de requerimientos que contendrá indicadores, metodología técnica para análisis y cálculo, valores de referencia, y una escala de niveles con rangos de porcentajes de mejoras correspondientes.

6.8.2 Cambio climático: Medidas de adaptación y mitigación

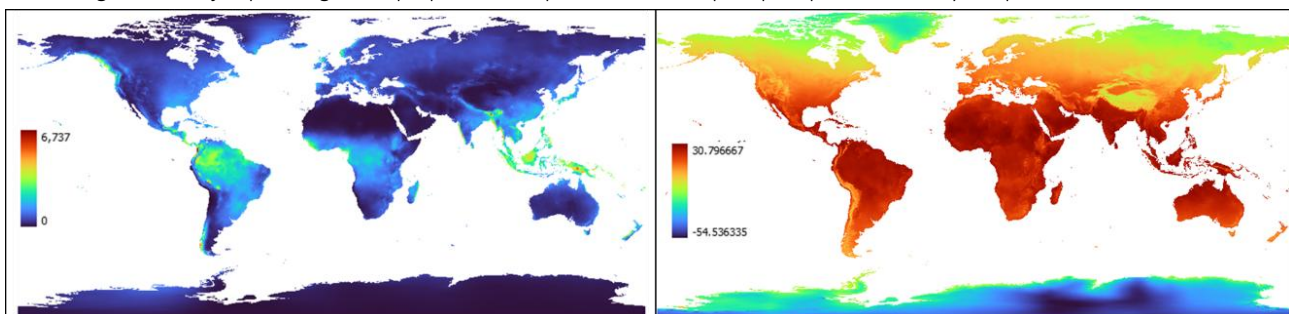
6.8.2.1 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

El análisis del cambio climático y las proyecciones sobre su impacto futuro se basan en modelos de circulación general de la atmósfera (MCG). Estos modelos utilizan observaciones históricas de estaciones meteorológicas y pueden proyectar escenarios climáticos futuros, lo que permite a los tomadores de decisiones anticiparse a diferentes posibles condiciones climáticas. Estos escenarios incluyen variaciones en las concentraciones de GEI y son agrupados en rangos de temperatura como altos, medios y bajos, reflejando posibles incrementos de temperatura que van desde menos de 2 °C hasta más de 5 °C.

Los escenarios climáticos, disponibles a nivel global y regional, permiten a las sociedades implementar medidas de adaptación y mitigación. Por ejemplo, los datos pueden ser utilizados para rediseñar infraestructuras y optimizar su eficiencia energética, reduciendo así costos de calefacción y refrigeración. Entre las plataformas que proveen estos datos destaca el Banco Mundial, que ofrece escenarios climáticos basados en diferentes vías socioeconómicas compartidas (SSP) para períodos futuros definidos, como 2020-2039 o 2080-2099. La información está disponible a nivel mensual o promedio por década y se puede interpolar para obtener valores específicos.

Bases de datos como WORLDCLIM, CHELSA, TERRACLIMATE y CCAFS proporcionan información de alta resolución espacial. WORLDCLIM, por ejemplo, presenta variables como temperatura, precipitación y bioclimáticas en resoluciones que van desde 20 km hasta 1 km. CHELSA y TERRACLIMATE incluyen variables adicionales relacionadas con la radiación, humedad y evapotranspiración, mientras que CCAFS ofrece métodos avanzados de reducción de escala estadística para ajustar los modelos climáticos globales a condiciones locales. Todas estas bases de datos facilitan la descarga y el procesamiento en software de información geográfica, permitiendo estudios detallados en diversas áreas, como biodiversidad, agricultura y servicios ecosistémicos.

Figura 6-31: Ejemplo del grillado proporcionado por WORLDCLIM para precipitación anual y temperatura media anual.



Fuente: WolrdClim

6.8.2.2 CERTIFICACIONES QUE INCLUYEN ASPECTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Certificaciones como LEED, BREEAM y Envision integran estrategias específicas para mitigar y adaptarse a los impactos climáticos. LEED, por ejemplo, fomenta la eficiencia energética y el uso de energías renovables, como solar y eólica, priorizando soluciones relevantes en el contexto geográfico chileno, caracterizado por su potencial de energía solar. BREAM incorpora criterios como la adaptación climática, que evalúa la resiliencia estructural y de materiales frente a eventos

climáticos extremos, lo cual se adapta a los riesgos climáticos del país. Envision, por su parte, exige evaluaciones de vulnerabilidades climáticas e implementar estrategias de resiliencia, asegurando infraestructuras sostenibles y adaptadas a las condiciones cambiantes, alineándose con planes nacionales de mitigación.

A continuación, se presenta una tabla resumen con todos los requisitos/créditos presentes en las certificaciones LEED v4.1 BD+C, BREEAM y Envision que poseen relación con el cambio climático:

Tabla 6-44: Tabla resumen de certificaciones

Certificación	Requisito/Crédito	Nivel/Puntaje	Descripción
LEED BD+C v4.1	Vehículos Eléctricos	1 punto	Promueve la instalación de infraestructura para vehículos eléctricos en proyectos de nueva construcción.
LEED BD+C v4.1	Rendimiento Energético Mínimo	Prerrequisito	Establece un nivel mínimo de eficiencia energética en el edificio según la norma ANSI/ASHRAE/IESNA 90.1-2016.
LEED BD+C v4.1	Gestión Fundamental de Refrigerantes	Prerrequisito	Prohíbe el uso de CFC y HCFC en nuevos sistemas HVAC, contribuyendo a la reducción del calentamiento global.
LEED BD+C v4.1	Medición del Nivel de Energía del Edificio	Prerrequisito	Exige la instalación de medidores de energía a nivel de edificio para apoyar la gestión energética.
LEED BD+C v4.1	Optimización del Rendimiento Energético	Hasta 20 puntos	Fomenta la mejora del rendimiento energético por encima de los estándares mínimos, con un enfoque en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
LEED BD+C v4.1	Energía Renovable	Hasta 5 puntos	Promueve el uso de energía renovable in situ o fuera del sitio para satisfacer la demanda energética del proyecto.
LEED BD+C v4.1	Gestión Mejorada de Refrigerantes	1 punto	Elimina el uso de refrigerantes con potencial de agotamiento del ozono o alto potencial de calentamiento global.
LEED BD+C v4.1	Reducción del Impacto del Ciclo de Vida del Edificio	Hasta 5 puntos	Fomenta la reducción de los impactos ambientales mediante la reutilización de materiales y la evaluación del ciclo de vida del edificio.
BREEAM	Confort Térmico (HEA 04)	Hasta 3 créditos	Busca garantizar el confort térmico mediante el diseño, la zonificación y la adaptabilidad del edificio al cambio climático.
BREEAM	Reducción del Uso de Energía y Emisiones de Carbono (ENE 01)	Hasta 13 créditos	Minimiza el consumo de energía primaria y las emisiones de CO ₂ mediante simulación energética o verificación de medidas de eficiencia.
BREEAM	Diseño de Bajo Carbono (ENE 04)	Hasta 3 créditos	Fomenta el uso de diseño pasivo y tecnologías de bajo carbono para reducir la demanda energética del edificio.
BREEAM	Impacto de Refrigerantes (POL 01)	Hasta 4 créditos	Reduce las emisiones de GEI causadas por fugas de refrigerantes y promueve el uso de refrigerantes de bajo impacto ambiental.
BREEAM	Emisiones de NOx (POL 02)	Hasta 2 créditos	Promueve el uso de fuentes de calor con bajas emisiones de NOx para minimizar la contaminación del aire.
BREEAM	Escorrentía Superficial (POL 03)	Hasta 5 créditos	Minimiza el riesgo de inundaciones y contaminación de cursos de agua mediante la gestión de aguas pluviales.
BREEAM	Diseño para la Durabilidad y Resiliencia (MAT 05)	1 crédito	Protege las partes vulnerables del edificio contra daños para maximizar la durabilidad y reducir la necesidad de reemplazos.
BREEAM	Adaptación al Cambio Climático (WST 05)	1 crédito	Fomenta la resiliencia estructural del edificio frente a los impactos del cambio climático mediante una evaluación de riesgos.
Envision	Reducir el Consumo Energético en Explotación (RA2.1)	Hasta 26 puntos	Reduce el consumo energético del proyecto durante su operación para mitigar el impacto ambiental.
Envision	Reducir el Consumo Energético durante la Construcción (RA2.2)	Hasta 12 puntos	Promueve la eficiencia energética y la reducción de emisiones durante la fase de construcción del proyecto.
Envision	Utilizar Energía Renovable (RA2.3)	Hasta 24 puntos	Fomenta el uso de fuentes de energía renovable durante la operación del proyecto.
Envision	Reducir el Carbono Neto Incorporado (CR1.1)	Hasta 20 puntos	Promueve la reducción del carbono incorporado en los materiales utilizados en la construcción del proyecto.
Envision	Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CR1.2)	Hasta 26 puntos	Reduce las emisiones de GEI durante la operación del proyecto para mitigar el cambio climático.
Envision	Reducir las Emisiones Contaminantes del Aire (CR1.3)	Hasta 18 puntos	Minimiza la emisión de contaminantes del aire, como partículas y gases, para proteger la salud humana y el medio ambiente.

Certificación	Requisito/Crédito	Nivel/Puntaje	Descripción
Envision	Evaluar la Vulnerabilidad al Cambio Climático (CR2.2)	Hasta 20 puntos	Desarrolla una evaluación exhaustiva de la vulnerabilidad del proyecto frente a los impactos climáticos.
Envision	Evaluar los Riesgos y la Resiliencia (CR2.3)	Hasta 26 puntos	Realiza una evaluación integral de los riesgos y vulnerabilidades del proyecto para aumentar su resiliencia.
Envision	Establecer Objetivos y Estrategias de Resiliencia (CR2.4)	Hasta 20 puntos	Define metas claras de resiliencia para reducir los riesgos y aumentar la durabilidad del proyecto frente a eventos climáticos extremos.
Envision	Maximizar la Resiliencia (CR2.5)	Hasta 26 puntos	Implementa estrategias y sistemas que mejoren la durabilidad y capacidad del proyecto para resistir riesgos climáticos y prolongar su vida útil.

Fuente: Elaboración propia

6.8.2.3 MARCO NORMATIVO

A continuación, se presenta una tabla resumen con las leyes, estrategias y políticas que influyen en cambio climático a nivel nacional.

Tabla 6-45: Resumen normativas y ejemplos de aplicación

Normativa	Ejemplo
Ley Marco del Cambio Climático: establece un marco para lograr la neutralidad de carbono al 2050	Para los aeropuertos, esto implica adoptar medidas concretas, por ejemplo, instalación de paneles solares, implementar programas de reciclaje, etc.
Estrategia Climática de Largo Plazo: tiene como objetivo alcanzar la carbono neutralidad y resiliencia climática a 2050.	Los aeropuertos están alineados a la descarbonización de la matriz energética al incorporar el hidrógeno verde tanto en sus aviones como en sus móviles terrestres hacia el 2030, además de implementar recursos para facilitar la electromovilidad (Como estaciones de carga o buses de transporte que sean eléctricos).
Política Energética Nacional 2050 (PEN): política para contribuir con el compromiso internacional de Chile para reducir en un 30% la intensidad de las emisiones de GEI para el 2030	Se espera que con las iniciativas anteriores se pueda reducir en un 40% las emisiones de GEI para 2030 y lograr la carbono neutralidad para 2050.
Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático: incluye la creación de un marco conceptual e institucional que guíe las acciones de adaptación a nivel nacional como sectorial.	La implementación de paneles solares en las amplias superficies en la cubierta de los aeropuertos podría lograr que este pudiera autoabastecerse, logrando así una disminución importante de uso de energía eléctrica alta en emisiones de carbono.
Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales: es una iniciativa diseñada para enfrentar los desafíos ambientales relacionados con el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras y la sequía, mediante la gestión de los recursos vegetacionales.	Los aeropuertos (como el Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago operado por la Sociedad Concesionaria Nuevo Pudahuel) impulsan iniciativas de reforestación de especies nativas aledañas a sus instalaciones.
Estrategia Nacional de Infraestructura Verde: incluye parques, jardines, techos verdes y bosques urbanos.	Las medidas concretas que han adoptado los aeropuertos son la creación de jardines verticales tanto en sus instalaciones internas como externas.
Ley Marco de Cambio Climático en Infraestructura Verde y Azul: forman parte de una estrategia que busca potenciar la resiliencia climática y reducir las emisiones de GEI.	Se busca reducir la huella hídrica en un 10% el consumo de agua anual al 2030, enfocándose en informes de usos críticos de agua. Además, se puede incentivar la captación de agua lluvia para lograr una reutilización de esta.

Fuente: Elaboración propia

6.8.2.4 AEROPUERTOS REFERENTES CON MEDIDAS FRENTE CAMBIO CLIMÁTICO

El Aeropuerto Internacional Arturo Merino Benítez, administrado por la concesionaria Nuevo Pudahuel, es el principal aeropuerto de Chile y uno de los más relevantes de Sudamérica. Su compromiso con la sostenibilidad se refleja en una serie de iniciativas que buscan reducir su huella de carbono, optimizar el uso de recursos y adaptarse a los efectos del cambio climático. Desde 2020, cuenta con una planta solar fotovoltaica de 826 KWp en su terminal principal, con un impacto ambiental equivalente a la plantación de más de 1.000 árboles. Además, se proyecta ampliar su capacidad a 11.032 KWp, lo que permitiría reducir en 6.846 toneladas las emisiones de CO₂ al año. En línea con la transición energética, el aeropuerto opera con electricidad 100% renovable desde 2019 y ha reemplazado más de 10.000 luminarias por tecnología LED, logrando importantes ahorros en consumo energético. También se prevé modernizar sus calderas para reducir el uso de gas licuado, con una meta de disminuir en 1.400 toneladas las emisiones anuales de CO₂.

Figura 6-32: Paneles solares en aeropuerto AMB



Fuente: Nuevo Pudahuel

La electromovilidad ha sido otro eje clave en su estrategia ambiental, con la incorporación de 12 puntos de carga para vehículos eléctricos, 50 taxis eléctricos y buses de bajas emisiones que conectan el aeropuerto con Santiago. Asimismo, se están evaluando proyectos para integrar la energía solar en la operación de la infraestructura y del transporte interno. De cara al futuro, el aeropuerto explora el potencial del hidrógeno verde, con un proyecto piloto que prevé la producción inicial de 40 kg diarios y la posibilidad de expandirse hasta 1.000 kg al día, contemplando su uso en vehículos y aeronaves. En materia de gestión de residuos, ha implementado programas de reciclaje con la meta de alcanzar un 40% de tasa de recuperación para 2030 y eliminar el envío de desechos a rellenos sanitarios en 2050. La aplicación CoFood ha reducido en un 83% la merma de alimentos y ha donado miles de cajas a personas en riesgo social. Paralelamente, la gestión hídrica ha mejorado con plantas de tratamiento que garantizan el suministro y reutilización de aguas residuales, mientras que la modernización de los sistemas de drenaje ha reducido los riesgos de inundaciones. Además, desde 2020 se han plantado 21.000 árboles nativos para reforzar la captura de carbono y la resiliencia del ecosistema.

El Aeropuerto de Changi en Singapur se ha consolidado como un modelo en sostenibilidad y adaptación climática. Con el objetivo de alcanzar cero emisiones de carbono para 2030 y emisiones netas cero para 2050, ha desarrollado estrategias innovadoras para reducir emisiones, gestionar eficientemente los recursos y preparar su infraestructura ante el cambio climático. Desde 2017, ha instalado más de 100 estaciones de carga para vehículos eléctricos, con planes de expansión a 300 para 2040. Además, su sistema de transporte interno "Skytrains a pedido" ha reducido en un 90% el consumo energético. En la aviación sostenible, Changi fue pionero en Singapur con un piloto de combustible de aviación sostenible (SAF) en 2022, logrando reducir 2.500 toneladas de CO₂ y sentando las bases para la producción masiva de SAF en la región. También ha implementado un tambor rotatorio para la compactación de residuos, optimizando su transporte y reduciendo emisiones. En infraestructura, se han reforzado las pistas con mezclas asfálticas avanzadas y sensores para monitorear el impacto de temperaturas extremas y prevenir el hidroplaneo. La gestión del agua también ha sido una prioridad, promoviendo la reutilización de aguas condensadas y de lluvia en sistemas de enfriamiento y riego, junto con la modernización de grifos y detección de fugas.

Figura 6-33: Skytrain



Fuente: Changi Airport

El Aeropuerto de Schiphol en Ámsterdam es un referente en sostenibilidad, con el objetivo de convertirse en un aeropuerto de cero emisiones y cero residuos para 2030, en línea con el Acuerdo de París. Desde 2012, mantiene la neutralidad en carbono, respaldado por el nivel 4+ de la certificación ACA. Su estrategia abarca la generación de energía renovable, la movilidad cero emisiones y la economía circular. Para mitigar la contaminación local, ha implementado un sistema de niebla que captura partículas ultrafinas de los motores de los aviones, reduciendo los riesgos para la salud pública. También ha instalado la primera batería de flujo de hierro (IFB) en un aeropuerto, lo que permite almacenar grandes cantidades de energía para alimentar equipos clave, incluyendo unidades eléctricas de suministro de energía a aeronaves. Desde 2018, toda la electricidad utilizada en Schiphol proviene de parques eólicos en los Países Bajos, gracias a un contrato con Eneco que se extiende hasta 2032. Además, se están incorporando paneles solares en diversas áreas del aeropuerto para suministrar energía a iluminación y escaleras de embarque.

Schiphol ha desarrollado una Estrategia de Adaptación Climática para enfrentar los efectos del cambio climático, considerando el aumento de precipitaciones, la elevación del nivel del mar y olas de calor más frecuentes. Como parte de estas acciones, ha optimizado la infraestructura de drenaje, creado áreas de almacenamiento de agua y desarrollado techos verdes que retienen humedad y reducen la temperatura ambiente. En la pista Zwanenburg y en el edificio de carga 17 se han implementado soluciones específicas para mejorar la capacidad de manejo de agua, asegurando la continuidad operativa del aeropuerto. Para prevenir daños estructurales, ha reforzado terminales y pistas con materiales avanzados y sensores láser que permiten un monitoreo en tiempo real de grietas y deformaciones. Durante olas de calor, se han implementado medidas para proteger a los trabajadores, incluyendo áreas climatizadas y provisión de agua potable en zonas exteriores, además de la evaluación de estrategias para mitigar el efecto de isla de calor mediante vegetación y materiales reflectantes.

Ante fenómenos meteorológicos extremos, Schiphol ha fortalecido su planificación de emergencias, con simulacros periódicos y sistemas de respaldo para garantizar la operatividad del aeropuerto. En colaboración con el Instituto Meteorológico de los Países Bajos, recibe alertas tempranas que le permiten adoptar medidas preventivas. Estas iniciativas reflejan la creciente importancia de la sostenibilidad en la aviación, donde aeropuertos líderes están adoptando tecnologías innovadoras y estrategias climáticas avanzadas para reducir su impacto ambiental y mejorar su resiliencia ante el cambio climático.

6.8.2.5 REVISIÓN DE RIESGOS DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LOS PROYECTOS, SEGÚN EL ATLAS DE RIESGO DE CHILE (ARCLIM)

El cambio climático podría intensificar la frecuencia y gravedad de eventos hidrometeorológicos extremos, lo que representa un riesgo significativo para la infraestructura pública. Fenómenos como fuertes precipitaciones, desbordes de ríos, inundaciones y el aumento del nivel del mar podrían afectar carreteras, puentes, puertos e infraestructura hídrica, comprometiendo servicios esenciales como la conectividad terrestre, marítima y aérea, el suministro de agua potable y los sistemas de evacuación de aguas.

En las zonas costeras, se espera un incremento en la intensidad y frecuencia de marejadas, lo que amenaza la infraestructura cercana al borde costero, incluyendo aeropuertos, puertos, caletas y playas. En el interior del país, los efectos del cambio climático se manifestarían a través de precipitaciones extremas y temperaturas extremas, generando impactos en la infraestructura pública y en la calidad de vida de las personas.

Ante esta realidad, los gobiernos de Chile han desarrollado estudios para comprender y mitigar los efectos del cambio climático, además de establecer medidas de adaptación cuando la mitigación no sea suficiente. Estos esfuerzos han sido plasmados en documentos estratégicos, como los distintos "Planes de Acción Nacional de Cambio Climático", que buscan fortalecer la resiliencia del país y convertir esta crisis en una oportunidad para avanzar hacia una sociedad más sustentable y respetuosa con el medioambiente.

Chile ha asumido compromisos hacia 2030, como la reducción del 30% en la intensidad de emisiones de GEI y la implementación de estrategias para el manejo sostenible del bosque nativo y las plantaciones forestales. También se han establecido metas de adaptación al cambio climático, incluyendo la generación de capacidades, la transferencia tecnológica y el financiamiento de acciones climáticas.

Estos planes están alineados con antecedentes y experiencias internacionales, asegurando un enfoque basado en objetivos realistas y estratégicos. Sin embargo, su éxito depende de un monitoreo constante y un seguimiento riguroso en su implementación, garantizando así la efectividad de las medidas y la resiliencia del país frente al cambio climático.

Resumiendo, en relación a los planes de acción propuestos, es posible concentrar el objetivo de las acciones propuestas para mitigar y adaptarse al posible cambio climático en la construcción de infraestructura pública como:

1. Contribuir a la reducción de los GEI mediante la inclusión de criterios de eco eficiencia.
2. Contabilizar la reducción de GEI en edificación pública, cuando consideren el diseño pasivo en su formulación.
3. Reducir GEI en la construcción de obras de infraestructura.
4. Contar con un sistema de información informático que permita sistematizar y contabilizar la reducción de GEI.
5. Integrar criterios de sustentabilidad en el área de la construcción de forma sistemática y coordinada con los lineamientos establecidos en materia energética y ambiental, definiendo los principales ejes para integrar el concepto de sustentabilidad en la planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones e infraestructura.

En Chile, la integración de energías renovables no convencionales en proyectos de infraestructura es una tendencia creciente dentro de las direcciones ejecutoras de obras, alineándose con el objetivo de reducir el impacto ambiental y contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático. Estas iniciativas no solo responden a políticas públicas enfocadas en la sostenibilidad, sino que también reflejan un compromiso con la responsabilidad social. Tanto organismos públicos como privados han impulsado medidas de ecoeficiencia en la construcción y en la infraestructura pública, enfocadas en la reducción de emisiones de GEI respaldadas por estudios técnicos y legales que permiten evaluar su viabilidad e implementación.

En este marco, la medición de la huella de carbono en la fase de construcción es clave para evaluar la efectividad de las reducciones de GEI a corto, mediano y largo plazo. A nivel global, existen antecedentes sólidos que permiten optimizar la huella de carbono en construcciones e infraestructura pública mediante estrategias específicas de reducción de emisiones. Este enfoque se vincula estrechamente con la necesidad de cuantificar numéricamente las reducciones de GEI en los proyectos de edificación pública, considerando estos aspectos desde su etapa de diseño. Además, se busca que empresas consultoras y constructoras dispongan de herramientas informáticas que faciliten el desarrollo de propuestas sólidas para la reducción de emisiones en los proyectos de infraestructura.

El Ministerio de Obras Públicas de Chile reconoce el papel fundamental de la infraestructura como soporte de las actividades humanas y destaca la importancia de considerar el cambio climático en la planificación y construcción de edificaciones públicas. Dado el impacto potencial de escenarios climáticos a largo plazo, desde los más optimistas hasta los más críticos, se vuelve imprescindible contar con información de calidad que respalde la toma de decisiones. Hasta ahora, gran parte de los esfuerzos se han centrado en las zonas costeras, pero es igualmente urgente abordar los desafíos que el cambio climático plantea a la infraestructura en el interior del país.

Por ello, se requiere el desarrollo de políticas que garanticen que la infraestructura y la edificación pública sean diseñadas bajo un enfoque de mitigación y adaptación al cambio climático. Estas acciones son pilares esenciales en la lucha contra el cambio climático, en línea con el artículo 2 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

6.8.2.6 RIESGO, AMENAZA, EXPOSICIÓN Y VULNERABILIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

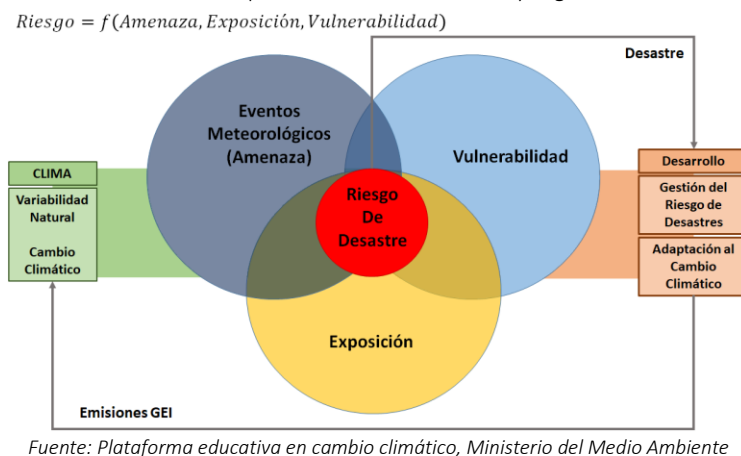
El cambio climático implica a futuro un aumento de las amenazas a la infraestructura pública proveniente de los eventos hidrometeorológicos, los cuales pueden afectar el funcionamiento de la infraestructura pública. Estas amenazas (Tormentas, Crecidas de ríos, Marejadas, Olas de calor, etc.) generan un peligro sobre la infraestructura pública, lo que conlleva a la existencia de un riesgo potencial, el cual, según expertos, se debería incrementar a futuro con el cambio climático. Los organismos públicos internacionales y nacionales coinciden que una solución para disminuir los riesgos en el país es la adaptación al cambio climático, es decir, incorporar al momento del diseño de la infraestructura pública los elementos que

permitan este objetivo. La Figura 6-34 muestra las posibles relaciones teóricas entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres (Adaptación IPCC). Esta figura nos muestra que para evaluar el riesgo meteorológico (Climático) en los diferentes territorios (Comunidades) es que una amenaza puede causar un daño producto de la vulnerabilidad de la población afectada. Cuando una amenaza produce un daño en una comunidad, el riesgo (Ver ecuación 1) se convierte en un desastre, lo que normalmente es traducido en impactos socio económicos.

$$\text{Riesgo} = f(\text{Amenaza}, \text{Exposición}, \text{Vulnerabilidad}) \quad (1)$$

La Ecuación 1 nos muestra que el riesgo puede ser entendido como la probabilidad de que un peligro (Amenaza) se convierta en un desastre, es decir, que un evento produzca un evento y sus consecuencias negativas. El peligro o amenaza podemos entenderlo como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un intervalo de tiempo dado (Intensidad y periodo de retorno). En términos generales, una comunidad que posee una matriz de actividades económicas en su territorio, las cuales se encuentran interactuando con fenómenos meteorológicos, como los descritos con anterioridad, los cuales pueden causar un daño, lo que se denomina exposición. La Exposición la podemos definir como la cantidad de personas, bienes, valores e infraestructura que son susceptibles de ser dañados. Por otra parte, la vulnerabilidad es la disposición interna del sistema socionatural a ser afectado por una amenaza, lo que indicaría que, si no existe vulnerabilidad, la amenaza no produce la destrucción.

Figura 6-34: Relaciones teóricas entre la adaptación al cambio climático y la gestión de desastres (Adaptación IPCC).



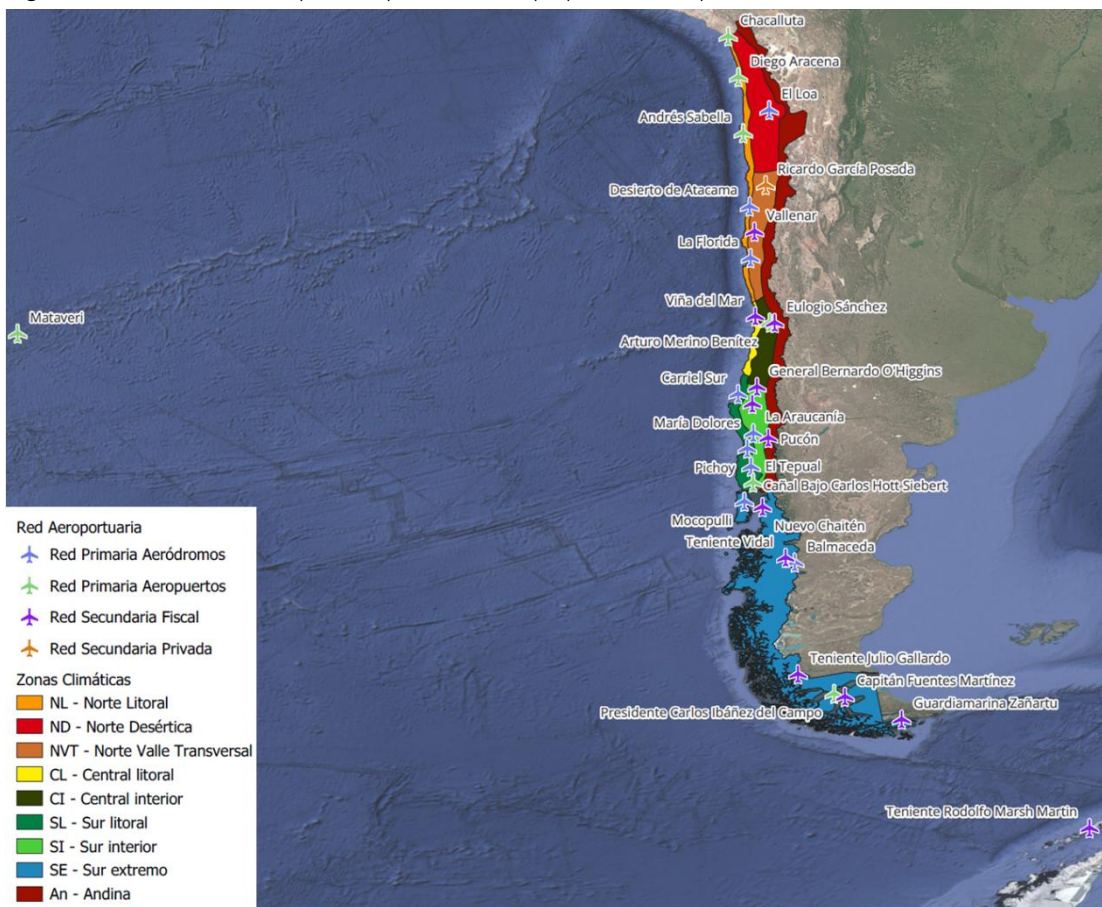
Los sistemas socionaturales de un territorio presentan distintos niveles de sensibilidad ante las amenazas del cambio climático. Reducir los riesgos asociados a estos impactos requiere implementar acciones que fortalezcan la resiliencia de estos sistemas, especialmente en la infraestructura pública, cuya capacidad adaptativa es clave para minimizar los daños provocados por eventos climáticos extremos. En Chile, esto implica diseñar y construir infraestructura con un enfoque basado en el cambio climático, incorporando información climática proyectada a futuro. Para ello, se necesita contar con bases de datos climáticas robustas, sustentadas en los escenarios propuestos por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y en la literatura científica.

La planificación de infraestructura debe considerar distintas escalas temporales. En obras con un horizonte menor a 10 años, se pueden utilizar registros hidroclimáticos históricos como referencia, pero en proyectos con una vida útil superior a 20 años es esencial integrar proyecciones basadas en modelos de circulación general de la atmósfera y escenarios climáticos futuros. Estos modelos, aunque suelen proporcionar valores medios mensuales, pueden ser complementados con "generadores climáticos" que permiten obtener estadísticas diarias de variabilidad climática, lo que resulta crucial para estimar el impacto de eventos extremos en infraestructuras clave. Además, en situaciones que requieran un análisis más detallado, es posible combinar distintos modelos climáticos y meteorológicos con modelos hidrológicos para evaluar el impacto de inundaciones en obras públicas. Aunque estos estudios implican mayores costos y desafíos técnicos, ofrecen información valiosa para la toma de decisiones y la planificación de infraestructura resiliente.

Desde una perspectiva hidroclimática, los datos utilizados en el diseño deben contar con una alta resolución temporal y espacial para garantizar su precisión. La estimación de precipitaciones máximas, por ejemplo, requiere datos en escalas horarias o diarias, mientras que la distribución geográfica de estos datos debe reflejar con fidelidad las condiciones locales del área donde se construirá la infraestructura. En este contexto, la normativa chilena ha avanzado en la integración de criterios climáticos y de eficiencia energética. La norma NCh1079.Of2008 estableció una zonificación climática para edificaciones, la cual fue actualizada en 2019 con la NCh1079:2019, que refuerza la eficiencia energética en construcciones. Además, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) presentó el Manual de Aplicación de la Certificación Vivienda Sustentable, incorporando criterios de sustentabilidad en edificaciones de mayor envergadura, incluyendo aeropuertos. Este manual busca garantizar el confort térmico y la eficiencia energética, promoviendo el uso de energía solar pasiva, equipos eficientes, energías renovables y sistemas de climatización geotérmica.

Sin embargo, si bien estas herramientas proporcionan un marco inicial para evaluar la sustentabilidad de la infraestructura aeroportuaria, la zonificación climática existente presenta limitaciones al no considerar escenarios futuros ni riesgos específicos derivados del cambio climático. La Figura 6-35 permite identificar la zona climática de un aeropuerto y sus condiciones ambientales actuales, pero no proporciona información sobre los riesgos climáticos a futuro ni las amenazas específicas que podrían afectar su operación. Para superar esta deficiencia, es necesario desarrollar zonificaciones climáticas a largo plazo que integren distintos escenarios de cambio climático, lo que permitiría anticipar los posibles impactos y diseñar infraestructura aeroportuaria más resiliente. Al cruzar esta zonificación con proyecciones climáticas, se podrían obtener datos fundamentales para la planificación ingenieril de los aeropuertos, alineando su diseño con estándares de eficiencia energética en concordancia con los criterios de la OCDE.

Figura 6-35: Ubicación de red primaria y secundaria superpuestos al mapa de zonificación climática Nch1079 Of77



Fuente: Elaboración propia

Los aeropuertos en Chile cumplen un rol fundamental en la movilidad de pasajeros y mercancías dentro y fuera del país. En los últimos años, la aviación comercial ha crecido de manera sostenida, con un tráfico de pasajeros en vuelos domésticos cercano a 1,5 millones, representando un aumento del 10% respecto a 2023. Ante este crecimiento, es crucial evaluar los riesgos que el cambio climático podría representar para la actividad aeroportuaria en el futuro. Los aeropuertos están expuestos a una serie de amenazas climáticas, entre ellas eventos hidrometeorológicos extremos como lluvias torrenciales, nieblas densas, vientos fuertes, heladas, nevadas, inundaciones y deslizamientos de tierra. También enfrentan riesgos derivados de eventos sísmicos y tsunamis. En los últimos años, a nivel internacional se ha observado un agravamiento de los impactos climáticos en la aviación, lo que ha impulsado mayores esfuerzos para evaluar y mitigar estos riesgos.

Existe un consenso global, respaldado por estudios de los últimos 30 años, sobre las tendencias climáticas y su impacto en la aviación. Entre los efectos más relevantes se incluyen un aumento de turbulencias, tormentas eléctricas más frecuentes, formación de hielo en aeronaves, vientos más intensos durante despegues y aterrizajes, y reducciones en la visibilidad debido a fenómenos atmosféricos extremos. Estos desafíos subrayan la necesidad de adoptar estrategias de adaptación y planificación para garantizar la seguridad y eficiencia del transporte aéreo en un contexto de cambio climático. La integración de estudios climáticos avanzados en el diseño de aeropuertos no solo permitirá reducir su vulnerabilidad, sino que también contribuirá a mejorar su desempeño ambiental y energético, asegurando su operatividad a largo plazo en un escenario climático cada vez más incierto.

Algunos de los riesgos de la Tabla 6-46 son visibles en la Figura 6-36. En esta figura los grandes puntos violetas indican la lluvia máxima diaria en zonas urbanas según proyecciones de ARCLim en donde a mayor intensidad de color mayor cantidad de lluvia, por otro lado, los colores indican el promedio de temperaturas máximas según proyecciones de ARCLim para los próximos 20 años.

Es importante considerar que, para contar con una adecuada gestión del riesgo es necesario poseer información procesada a escala territorial de los fenómenos que potencialmente pueden configurarse como una amenaza ahora y al futuro en los escenarios de cambio climático con que contamos. Chile no se ha quedado atrás para estimar los riesgos asociados y la literatura muestra un gran esfuerzo por parte de los organismos chilenos para proporcionar esta información en mapas. En la actualidad, el Ministerio del Medioambiente cuenta con una base de datos espacial de los riesgos en el territorio nacional asociados con diferentes actividades económicas en el país, llamado ARCLIM (Ver 4.1.1.6). Esta información asegura conocer anticipadamente los riesgos asociados en la etapa de funcionamiento, para tener en cuenta en las etapas de diseño y construcción de la infraestructura y edificación pública.

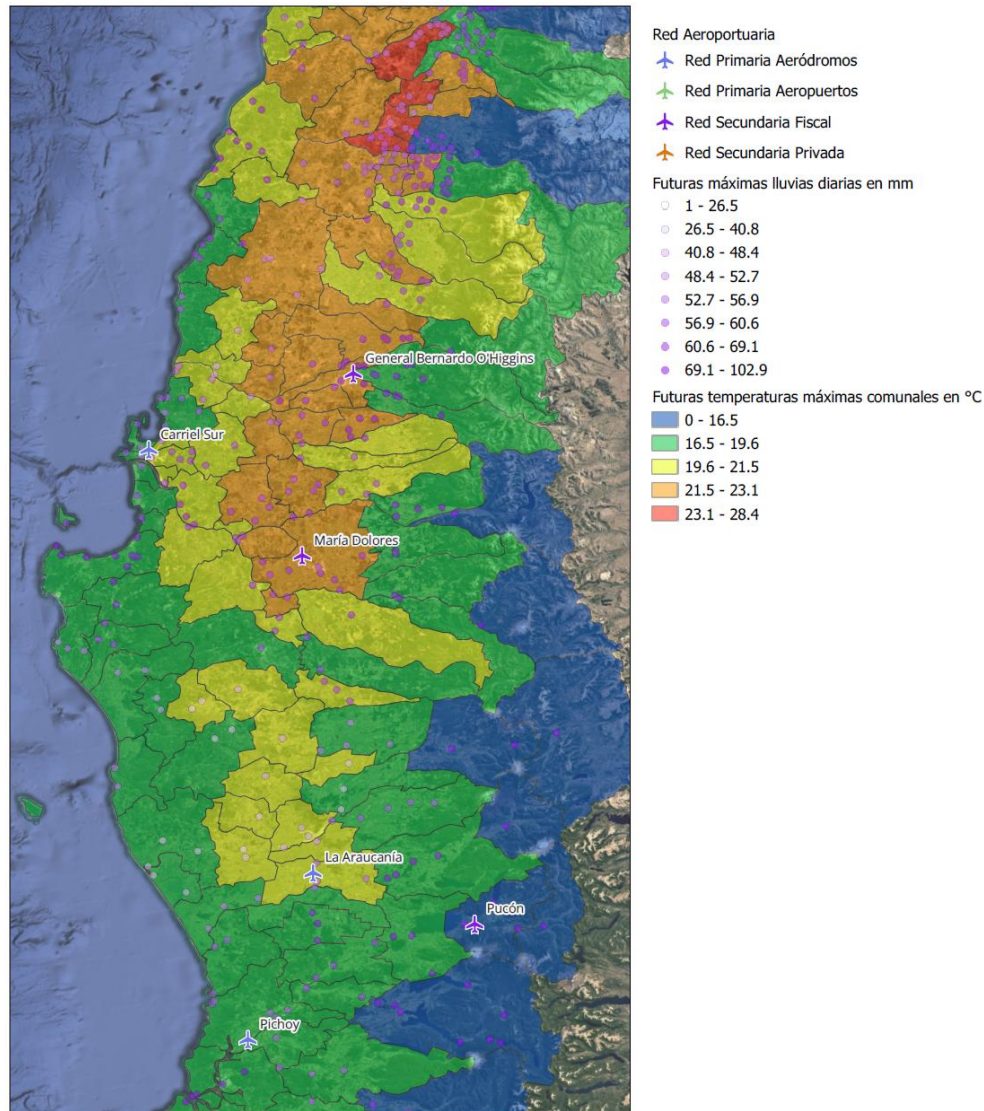
Tabla 6-46: Potenciales riesgos que enfrentarán los aeropuertos a futuro

Cambios en la precipitación	<p>Los incrementos en la intensidad de la precipitación pueden provocar inundaciones en las pistas de aterrizaje y calles de rodaje (Interrupción de las operaciones en los aeropuertos).</p> <p>Posible aumento en la subsidencia del suelo debido a la saturación por el incremento de precipitaciones intensas y en periodos cortos, lo que podría provocar hundimientos en pistas y calles de rodaje.</p> <p>Disminución de la capacidad operativa de la pista por cierres temporales.</p> <p>Problemas en la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial.</p> <p>Inundación de infraestructura subterránea crítica.</p> <p>Inundación de los accesos terrestres para los pasajeros y personal del aeropuerto.</p> <p>Aumento de la frecuencia del mantenimiento en la infraestructura del aeropuerto aumentando los costos de operación.</p> <p>Efectos de sequías prolongadas en la provisión de agua (Necesidad de almacenaje adicional).</p>
Cambios en la temperatura	<p>Posibles daños a los pavimentos en las pistas y calles de rodaje por las altas temperaturas.</p> <p>Incremento del consumo eléctrico debido a un mayor uso de aire acondicionado en las instalaciones.</p> <p>Impactos en el personal que en el aeropuerto ya sea por frío o calor.</p> <p>Incremento de la demanda de servicios públicos en el aeropuerto.</p> <p>Cambios en los patrones de la demanda por parte de los usuarios en el periodo estación estival.</p> <p>Efecto de las olas de calor, disconfort en los usuarios, posibilidad de provocar incendios en el entorno del aeropuerto (Pastizales y bosques) impactando la operación del aeropuerto.</p>
Cambios en el viento	<p>Interrupción de las operaciones de despegue o aterrizaje (Velocidad del viento).</p> <p>Potencial incremento de la turbulencia.</p>

<p>Cambios en la precipitación</p>	<p>Los incrementos en la intensidad de la precipitación pueden provocar inundaciones en las pistas de aterrizaje y calles de rodaje (Interrupción de las operaciones en los aeropuertos). Posible aumento en la subsidencia del suelo debido a la saturación por el incremento de precipitaciones intensas y en periodos cortos, lo que podría provocar hundimientos en pistas y calles de rodaje. Disminución de la capacidad operativa de la pista por cierres temporales. Problemas en la capacidad de los sistemas de drenaje pluvial. Inundación de infraestructura subterránea crítica. Inundación de los accesos terrestres para los pasajeros y personal del aeropuerto. Aumento de la frecuencia del mantenimiento en la infraestructura del aeropuerto aumentando los costos de operación. Efectos de sequías prolongadas en la provisión de agua (Necesidad de almacenaje adicional).</p>
	<p>Patrones del comportamiento del viento local, afectando la orientación de la pista en las ubicaciones actuales. Daños a equipos, señalización, infraestructura del aeropuerto.</p>
<p>Aumento del nivel del mar</p>	<p>El potencial incremento del nivel del mar en los aeropuertos ubicados muy cercanos a las costas puede llevar a perder la infraestructura. Efecto de las marejadas asociadas con una disminución de la capacidad en el funcionamiento del aeropuerto. Pérdida de los accesos terrestres al aeropuerto. Reubicación del aeropuerto.</p>
<p>Fenómenos hidrometeorológicos extremos</p>	<p>Las tormentas invernales con excesiva precipitación y/o nieve Temperaturas muy bajas (Heladas intensas y de larga duración) que ocasionan el congelamiento de las pistas Advección de masas de aire frío que provocan intensas nieblas y su duración Presencia de vientos fuertes en los aeropuertos interiores y cercanos al océano Posibles pérdidas temporales de provisión de servicios públicos, como energía y agua.</p>

Fuente: Elaboración propia

Figura 6-36: Detalle de riesgos de aumento de temperaturas y lluvias en Chile



Fuente: Elaboración propia en base a BCN y ARCLIM

6.8.3 Infraestructura Verde y Azul

La Comisión Europea define las soluciones basadas en la naturaleza como “soluciones que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza, que son rentables, proporcionan simultáneamente beneficios ambientales, sociales y económicos y ayudan a construir resiliencia”. Tales soluciones traen más naturaleza, y una naturaleza más diversa, así como características y procesos naturales, a las ciudades, paisajes y paisajes marinos, a través de intervenciones sistémicas, adaptadas localmente y eficientes en el uso de recursos. La infraestructura verde y azul es una de las soluciones basadas en la naturaleza.

Según la comisión europea de Energía, Cambio Climático y Medio Ambiente la infraestructura verde y azul se ha definido como “una red planificada estratégicamente de áreas naturales y seminaturales con otras características ambientales, diseñada y gestionada para ofrecer una amplia gama de servicios ecosistémicos, al mismo tiempo que mejora la biodiversidad.” Por ejemplo, la purificación del agua, la mejora de la calidad del aire, la provisión de espacios para la recreación, así como la ayuda en la mitigación y adaptación al cambio climático. Esta red de espacios verdes y azules mejoran la calidad del medio ambiente, la condición y la conectividad de las áreas naturales, además de mejorar la salud y la calidad de vida de los ciudadanos. Una definición compacta junto a ejemplos se puede observar en la tabla a continuación.

Tabla 6-47: Definición y ejemplos de infraestructura verde y azul

Infraestructura Verde	Infraestructura Azul
<p>Área o característica natural basada en tierra y vegetación, o un sistema o característica diseñado para proteger, imitar o mejorar una función natural, que:</p> <p>I. Absorbe y filtra contaminantes II. Protege a las comunidades de inundaciones o marejadas ciclónicas III. Reduce la erosión IV. Captura emisiones de carbono.</p>	<p>Área o característica natural basada en agua, o un sistema o característica diseñado para proteger, imitar o mejorar una función natural, que:</p> <p>I. Absorbe y filtra contaminantes II. Atenúa la erosión costera III. Protege a las comunidades de inundaciones o marejadas ciclónicas IV. Reduce la erosión; V. Captura emisiones de carbono.</p>
Ejemplos infraestructura Verde	Ejemplos Infraestructura Azul
<p>I. Techos verdes II. Muros verdes III. Parques urbanos IV. Jardines comunitarios V. Corredores ecológicos VI. Sistemas de drenaje sostenible VII. Terrenos agrícolas urbanos VIII. Instalaciones de compostaje comunitario IX. Viveros urbanos X. Praderas urbanas</p>	<p>I. Arrecifes mejorados o restaurados II. Praderas de pastos marinos mejoradas o restauradas III. Proyectos de acuicultura IV. Humedales flotantes V. Sistemas de recolección de aguas VI. Humedales artificiales VII. Canales de drenajes sostenibles VIII. Lagunas de Retención IX. Caminos y puentes de madera X. Jardines de lluvia</p>

Fuente: Elaboración propia en base a Natural England, Fideicomiso Ambiental de Maryland

6.8.3.1 PROYECTOS CON INCLUSIÓN DE INFRAESTRUCTURA VERDE Y AZUL

La siguiente tabla presenta un resumen de proyectos destacados de infraestructura verde y azul implementados en aeropuertos internacionales, los cuales representan soluciones innovadoras para la sostenibilidad y adaptación al cambio climático. Estos proyectos integran elementos naturales y sistemas tecnológicos avanzados con el propósito de mejorar la eficiencia energética, mitigar el impacto ambiental y optimizar la experiencia del usuario. La información incluye medidas específicas como cubiertas y muros verdes, jardines interiores y verticales, así como sistemas de recolección y tratamiento de agua.

Tabla 6-48: Cuadro resumen infraestructura verde y azul en aeropuertos

Aeropuerto	Tipo de Infraestructura	Medidas específicas	Impacto ambiental y beneficios
Jewel Changi, Singapur	Verde y Azul	Muros verdes: Terminal 3 (4.144 m ² , 14 metros de altura, 300 metros de longitud), con 10.000 plantas de 25 especies de trepadoras.	- Mejora de la calidad del aire. - Regulación de temperatura interna.
		Jardines interiores: 900 árboles, 60.000 arbustos, y cascada interior de 40 metros.	- Mejora de la experiencia del usuario. - Captura de carbono. - Uso de agua de lluvia para riego.
		Infraestructura azul: Sistemas avanzados de mitigación de inundaciones (tanques de almacenamiento, bombas, barreras contra inundaciones).	- Sensación de conexión con la naturaleza. - Reducción de riesgos de inundaciones. - Recolección de agua de lluvia para uso interno.
Frankfurt, Alemania	Verde	Cubiertas verdes: más de 40.000 m ² en diferentes edificios del aeropuerto.	- Reducción de la temperatura ambiente. - Aislamiento térmico y acústico. - Captura de carbono.
		Muros verdes: Terminal 2, con 135 m ² cubiertos por plantas trepadoras y helechos, regados automáticamente.	- Mejora de la calidad del aire. - Reducción de dióxido de carbono y polvo. - Mejora acústica en la terminal.
Ámsterdam-Schiphol, Países Bajos	Verde y Azul	Cubiertas verdes: 8.600 m ² en Plaza Schiphol; sistema de drenaje avanzado para captación y almacenamiento de agua de lluvia.	- Reducción de la temperatura y mejora de eficiencia energética. - Captura de agua para usos internos.
			- Mejora la calidad del aire.

Aeropuerto	Tipo de Infraestructura	Medidas específicas	Impacto ambiental y beneficios
		Parque interior: Espacio con proyecciones de escenas naturales, sonido ambiental, y plantas reales que mejoran la experiencia de los pasajeros.	- Aumenta la comodidad y la sensación de estar en un entorno natural.
		Sistema "polder": Almacenamiento temporal de agua para gestionar niveles elevados de lluvias.	- Prevención de inundaciones. - Gestión eficiente del agua de lluvia.
Chicago O'Hare, EE.UU.	Verde	Cubiertas verdes: Más de 21.300 m ² en varios edificios, incluyendo la Torre de Control Aéreo Norte (929 m ²).	- Reducción de escorrentías. - Aislamiento térmico y acústico. - Captura de carbono y mejora de la calidad del aire.
		Jardines aeropónicos: 86 m ² entre terminales 2 y 3, con más de 1.000 plantas.	- Cultivo sostenible que reduce el uso de agua (95% menos que la agricultura convencional).
Banyuwangi, Indonesia	Verde y Azul	Techos verdes: 4.765 m ² , diseñados para conservar energía y reducir la temperatura.	- Ahorro energético al disminuir la necesidad de aire acondicionado. - Captura de contaminantes y filtración de gases.
		Estanques de agua: Integrados en el diseño, sirven como sistemas de enfriamiento natural y albergan peces ornamentales.	- Reducción de la necesidad de aire acondicionado. - Mejora de la biodiversidad local.
Arturo Merino Benítez, Chile	Verde y Azul	Techos verdes: 4.800 m ² con plantas adaptadas al clima mediterráneo.	- Reducción de la temperatura interna. - Mejora de la calidad del aire. - Captura de CO ₂ .
		Jardines verticales: 1.500 m ² de jardines que representan la cultura de los pueblos originarios de Chile, con 72.000 plantas.	- Captura de CO ₂ . - Aporte visual y cultural para los pasajeros. - Mejora de la biodiversidad.
		Sistemas de recolección y tratamiento de agua: Planta de tratamiento para recolección de aguas residuales y lluvia (111.000 m ³ mensuales).	- Reducción del consumo de agua potable. - Uso del agua tratada para riego y limpieza. - Reducción de inundaciones.
		Sistema de drenaje: Mejoras en los colectores de aguas lluvias (1.790 m en G3 Norte, 630 m en G3 Sur) para mitigar inundaciones.	- Mayor eficiencia en la evacuación de aguas pluviales. - Reducción del riesgo de interrupciones en las operaciones.

Fuente: elaboración propia

6.8.3.2 ANÁLISIS NCH3626:2020, TECHOS VERDES: TERMINOLOGÍA, CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS

La norma NCh3626:2020 establece los principios para el diseño, ejecución y mantenimiento de techos verdes en Chile, con el objetivo de fomentar la sostenibilidad urbana y mejorar la calidad de vida en las ciudades. Esta guía técnica no solo abarca aspectos constructivos, sino que también promueve beneficios ambientales, económicos y sociales, orientando tanto a proyectos públicos como privados en la integración de infraestructuras vegetales en edificios.

Con un amplio alcance, la norma cubre techos verdes de distintos tipos según su estructura y funcionalidad: extensivos, con sustratos de hasta 15 cm y vegetación de bajo mantenimiento como cubresuelos y herbáceas; semintensivos, con sustratos de 15 a 30 cm que permiten arbustos y césped con riego moderado; e intensivos, con sustratos superiores a 30 cm, diseñados para soportar árboles y plantas de mayor tamaño, ideales para áreas de descanso y huertos urbanos, aunque requieren más recursos para su mantenimiento. Su aplicación es válida tanto para edificaciones nuevas como existentes, y establece una terminología común sobre capas drenantes, impermeabilización, sustratos y vegetación, facilitando la comunicación entre los distintos actores del proceso constructivo.

Un aspecto clave en el diseño de techos verdes es la gestión del agua, que requiere sistemas de riego eficientes, ya sea por goteo o superficiales, priorizando el uso de agua reciclada o no potable dentro de los marcos normativos. La capacidad del sustrato para retener agua es fundamental, especialmente en climas áridos o con precipitaciones irregulares.

Los techos verdes aportan múltiples beneficios ambientales, como la mitigación del efecto isla de calor mediante enfriamiento evaporativo, la mejora de la calidad del aire al capturar contaminantes y la reducción de la escorrentía pluvial al retener y filtrar el agua de lluvia. También promueven la biodiversidad al proporcionar hábitats para distintas especies, fortaleciendo los ecosistemas urbanos. En términos económicos, contribuyen a extender la vida útil de las cubiertas impermeables, reducen costos de climatización en edificios y aumentan el valor de las propiedades.

La selección de vegetación es otro aspecto clave. Se deben considerar factores climáticos y estructurales, eligiendo especies resistentes a las condiciones locales y de bajo mantenimiento. En techos extensivos se recomienda el uso de plantas de bajo porte y tolerantes a la sequía, mientras que en techos intensivos se pueden incluir árboles y arbustos con mayores requerimientos hídricos.

Desde el punto de vista tecnológico, la norma define especificaciones para capas de drenaje, impermeabilización y sustratos, asegurando resistencia estructural, permeabilidad y capacidad de retención de agua. También destaca los avances en sistemas modulares, que facilitan la instalación y el mantenimiento al integrar múltiples componentes en un solo módulo.

Finalmente, la planificación y ejecución de un techo verde requieren una coordinación precisa. La norma enfatiza la importancia de garantizar acceso seguro a los techos en todas las etapas del proyecto, incluyendo medidas de seguridad como barandas y anclajes. Además, recomienda realizar pruebas de impermeabilización antes de la instalación y asegurar un sistema de drenaje eficiente para evitar la acumulación de agua y el estrés hídrico en la vegetación.

Figura 6-37: Servicios ecosistémicos

Servicios de regulación	Servicios de provisión	Servicios culturales
Regulación del clima local	Cultivos	Recreación, turismo y ecoturismo
Regulación de la calidad del aire	Forraje	Inspiración y belleza escénica
Infiltración y drenaje de aguas	Ganado	Conocimiento de los sistemas
Purificación del agua	Fibra	Experiencia espiritual y religiosa
Regulación de la erosión	Madera	Patrimonio y diversidad cultural
Polinización ante riesgos naturales	Leña	Patrimonio natural y biodiversidad
Polinización	Acuicultura	Valor educativo
Control de plagas y enfermedades	Alimentos y vegetación	
	Medicamentos y bioquímicos	
Descomposición de orgánicos	Agua fresca y potable	
Reducción del ruido	Recursos Minerales	
Regulación de gases (+O ₂ y -CO ₂)	Recursos energéticos	Integración social
Secuestro de carbono	Abióticos	Salud mental y física de personas
Provisión de hábitat	Recursos genéticos	
Formación de suelo; fotosíntesis; Producción primaria; Ciclo de nutrientes; Ciclo del agua.		
Servicios de soporte.		

Fuente: NCH3626:2020

6.8.3.3 ANÁLISIS DE SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (2021)

El informe "Soluciones basadas en la Naturaleza" (2021) plantea un enfoque integral y sostenible para enfrentar el cambio climático a través de la restauración, protección y manejo de ecosistemas. Respaldado por el Ministerio de Ciencia de Chile, la CEPAL y la Unión Europea, el documento subraya la importancia de incorporar estas estrategias en políticas públicas y proyectos de desarrollo, promoviendo una adaptación más resiliente ante los desafíos ambientales. Las soluciones basadas en la naturaleza (SBN) permiten capturar carbono, reducir emisiones y mejorar la calidad de los ecosistemas, beneficiando sectores como la agricultura, la ganadería, los bosques y los sistemas marinos.

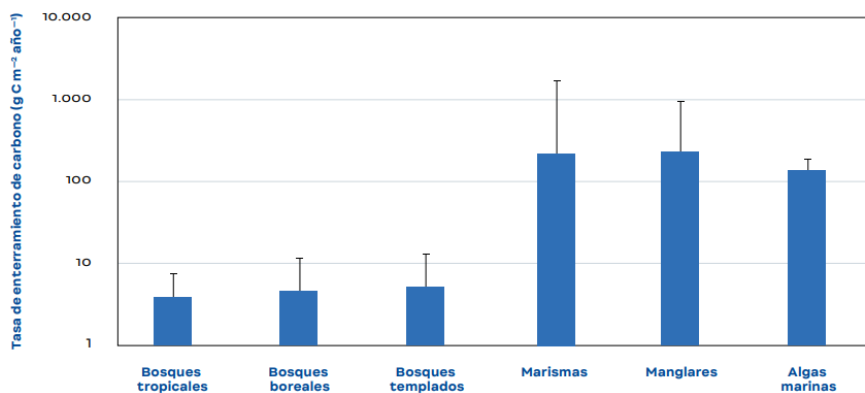
En el ámbito forestal, los bosques cumplen un rol esencial en la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad. En Chile, los bosques nativos han logrado un balance negativo de emisiones de GEI gracias a su regeneración natural, la existencia de parques nacionales y la gestión bajo planes de manejo. Para potenciar estos beneficios, se propone duplicar la superficie de reforestación con especies nativas en la próxima década, priorizando áreas cercanas a cursos de agua y promoviendo investigaciones sobre los efectos del cambio climático en los ecosistemas.

La agricultura, que representa el 7% de las emisiones del país, enfrenta retos como la desertificación y la degradación del suelo. Para mitigar estos impactos, las SBN ofrecen soluciones como el uso de biocarbón, que mejora la capacidad del suelo para almacenar carbono, y el manejo eficiente de nutrientes, que reduce emisiones y protege los recursos hídricos. Además, la integración de árboles en tierras de cultivo y la gestión sostenible de pastizales favorecen el secuestro de carbono y la resiliencia del sector. Para implementar estas estrategias, es fundamental establecer incentivos económicos para los agricultores y programas educativos que fomenten prácticas sostenibles.

Los humedales también juegan un papel clave en la regulación hídrica y la captura de carbono. A pesar de su reducción a nivel global, la restauración de estos ecosistemas puede recuperar su capacidad de almacenamiento de carbono en poco tiempo, además de mitigar inundaciones, mejorar la calidad del agua y proteger la biodiversidad. En Chile, se reconoce la necesidad de desarrollar un inventario nacional actualizado de humedales, cerrar brechas tecnológicas y fortalecer la gobernanza para su conservación y recuperación.

En el ámbito marino, los ecosistemas costeros y de profundidad son fundamentales en la mitigación climática. Los bosques de algas pardas y los sedimentos marinos funcionan como sumideros de carbono, mientras que la bomba biológica marina transporta carbono hacia las profundidades oceánicas. Proteger estos ecosistemas es crucial para evitar la liberación de carbono acumulado y potenciar su capacidad de captura. Chile, con su vasta superficie marina, tiene un enorme potencial para liderar iniciativas de conservación en este ámbito, asegurando la estabilidad de estos sistemas esenciales.

Figura 6-38: Almacenamiento de carbono en ecosistemas de carbono azul y bosques



Fuente: Pendleton et al. (2012)

Las ciudades también pueden beneficiarse de las SBN mediante corredores verdes, techos vegetales, restauración de cerros y sistemas de drenaje sostenible, estrategias que ayudan a reducir emisiones y mitigar el efecto isla de calor. Estas medidas no solo mejoran la calidad del aire y la resiliencia urbana frente a desastres naturales, sino que también fomentan la movilidad activa y el bienestar de las comunidades. Sin embargo, para que estas soluciones sean efectivas, se requiere una transformación en la planificación urbana y un compromiso tanto de gobiernos como de la sociedad.

Finalmente, la criósfera andina, compuesta por glaciares y permafrost, desempeña un papel fundamental en la regulación climática y el almacenamiento de agua. La protección de estos ecosistemas es crucial para evitar la liberación de GEI atrapados en el permafrost y para mantener su capacidad de reflejar la radiación solar. Las SBN proponen monitorear los depósitos de carbono negro, proteger el permafrost y establecer sistemas de alerta temprana para gestionar los riesgos hidrogeológicos asociados a su degradación.

6.8.3.4 ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR GLOBAL DE LA UICN PARA SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA

El "Estándar Global de la UICN para Soluciones Basadas en la Naturaleza", aprobado en 2020, establece un marco integral y práctico para diseñar, verificar y escalar intervenciones basadas en la naturaleza, asegurando que estas sean efectivas, sostenibles y capaces de abordar los principales desafíos sociales. Desarrollado por el Grupo de SBN de la UICN y la Comisión de Gestión de Ecosistemas, este estándar busca garantizar que las SBN se implementen de manera consistente y basada en evidencia, promoviendo su adopción global como una herramienta clave frente al cambio climático, la pérdida de

biodiversidad y otros problemas críticos. Respaldo por criterios e indicadores sólidos, el estándar promueve beneficios tangibles tanto para los ecosistemas como para las comunidades humanas, integrándolos en políticas públicas, proyectos de desarrollo y estrategias económicas.

A lo largo del siglo XX, la conservación de la naturaleza fue frecuentemente vista como un obstáculo para el desarrollo económico. Sin embargo, la evidencia científica ha demostrado que los ecosistemas saludables son esenciales para el bienestar humano, contribuyendo a la seguridad alimentaria, la regulación climática y la reducción de riesgos de desastres. Este reconocimiento ha llevado a que las SBN ganen protagonismo en la agenda global, destacándose como soluciones que combinan la gestión y restauración de ecosistemas con la provisión de servicios sociales, económicos y ambientales. Según la UICN, estas intervenciones pueden contribuir con hasta un 30% de la mitigación necesaria para cumplir con los objetivos climáticos de 2030, demostrando su papel crucial en el desarrollo sostenible.

El estándar establece criterios esenciales que guían el diseño y la implementación de SBN, destacando la importancia de responder a desafíos sociales prioritarios mediante procesos inclusivos. Esto implica identificar problemas críticos, como la inseguridad alimentaria, la escasez de agua o el impacto de desastres naturales, a través de consultas transparentes con las comunidades afectadas y otros interesados. Además, el diseño de estas soluciones debe considerar la complejidad de los paisajes dinámicos y sus interacciones ecológicas, sociales y económicas, utilizando enfoques basados en sistemas para maximizar su impacto positivo.

La sostenibilidad ecológica es un pilar fundamental del estándar. Las SBN deben generar ganancias netas en biodiversidad e integridad de los ecosistemas, restaurando sus funciones y fortaleciendo su capacidad para proporcionar servicios ecosistémicos a largo plazo. Esto requiere evaluaciones iniciales rigurosas, objetivos claros de conservación y la implementación de estrategias adaptativas para mitigar riesgos imprevistos. De esta manera, las SBN no solo abordan problemas actuales, sino que también aumentan la resiliencia de los ecosistemas frente a futuros desafíos.

El estándar enfatiza también la necesidad de garantizar la viabilidad económica de las intervenciones. Las SBN deben equilibrar costos iniciales con beneficios sostenidos, promoviendo análisis de costo-efectividad y la exploración de fuentes de financiamiento innovadoras, como asociaciones público-privadas, subvenciones o créditos verdes. Este enfoque asegura que las intervenciones no solo sean sostenibles en el tiempo, sino que también sean atractivas para inversores y donantes, facilitando su replicación en diferentes contextos.

La gobernanza inclusiva y transparente es otro criterio clave. Las SBN deben ser gestionadas con la participación de las comunidades locales, respetando sus derechos y promoviendo su empoderamiento. Esto incluye establecer mecanismos claros para la resolución de reclamaciones y garantizar que los beneficios de las intervenciones se distribuyan equitativamente. Además, el estándar aboga por la documentación transparente de todos los procesos de toma de decisiones, fortaleciendo la rendición de cuentas y aumentando la legitimidad social de los proyectos.

La adaptabilidad y el aprendizaje continuo son esenciales para el éxito de las SBN. Los ecosistemas son dinámicos y complejos, por lo que las intervenciones deben incluir mecanismos de monitoreo constante y evaluación periódica, permitiendo ajustes basados en datos y evidencia. Este enfoque de gestión adaptativa garantiza que las SBN sigan siendo relevantes y efectivas a lo largo de su ciclo de vida, minimizando el riesgo de redundancia o fracaso.

Finalmente, el estándar resalta la importancia de integrar las SBN en marcos normativos adecuados, alineándolas con políticas nacionales e internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible y el Acuerdo de París. Esto no solo fortalece su impacto, sino que también facilita su expansión a diferentes sectores y geografías, contribuyendo a un cambio transformador. La promoción estratégica y la comunicación efectiva son fundamentales para incrementar su adopción y asegurar el compromiso de todos los niveles de la sociedad.

6.8.4 Variable Social en Certificación Sustentable

La inclusión de la variable social en la construcción sostenible es fundamental para garantizar que los proyectos no solo sean ambientalmente responsables, sino también equitativos y beneficiosos para la salud y el bienestar de las personas, comunidades y los territorios. A continuación, se desarrolló una metodología de análisis que permitió levantar información

relevante sobre una serie de certificaciones y políticas nacionales e internacionales que consideran aspectos sociales como una dimensión relevante para la infraestructura aeroportuaria y sus procesos de certificación. A partir de dicho análisis, se elaboró una propuesta metodológica para el proceso de certificación en el ámbito social, la cual incorpora herramientas que permitirán levantar la información sensible sobre aspectos a considerar en la variable social relativo al diseño, construcción y operación de infraestructura aeroportuaria. La metodología propuesta combina enfoques cualitativos y cuantitativos para lograr una comprensión profunda y representativa de las perspectivas de los actores a consultar con relación a la sustentabilidad, inclusión social y participación ciudadana en la infraestructura aeroportuaria chilena.

La combinación de métodos cualitativos y cuantitativos permite obtener una visión más completa y profunda de las perspectivas de los actores clave, así como datos cuantitativos sobre la importancia relativa de diferentes aspectos sociales a considerar como relevantes para la sustentabilidad, inclusión social y participación ciudadana. Esta propuesta metodológica busca promover la participación activa de los actores clave en el proceso de investigación, lo que contribuye a generar un mayor compromiso y apropiación de los resultados. Para el análisis, la triangulación de datos y el uso de técnicas de análisis rigurosas deben garantizar la validez y confiabilidad de los hallazgos, permitiendo obtener conclusiones sólidas y recomendaciones pertinentes en la inclusión de aspectos sociales para la mejora de la infraestructura aeroportuaria en Chile.

6.8.4.1 COMPOSICIÓN DE LA VARIABLE SOCIAL

La variable social, en su dimensión multidimensional, es un concepto esencial para comprender la dinámica de las sociedades y su influencia en diversos ámbitos. Esta se compone de varias categorías interrelacionadas, como la demografía, la estructura social, la cultura y las instituciones sociales, cada una de las cuales aporta un entendimiento integral de la vida en sociedad. La demografía, por ejemplo, examina características poblacionales como tamaño, distribución geográfica, edad, género, raza y religión, esenciales para entender la composición de una sociedad. Por su parte, la estructura social analiza cómo las relaciones sociales se organizan en términos de clase, estatus socioeconómico, nivel educativo, ocupación y roles familiares, factores que determinan el acceso a recursos y oportunidades.

La cultura, que abarca normas, valores, creencias y tradiciones compartidas, influye en cómo las personas interpretan su entorno y sus interacciones sociales. Asimismo, las instituciones sociales, como la familia, la educación, la religión y el gobierno, cumplen funciones fundamentales en la regulación de la vida social, la socialización y la provisión de servicios esenciales.

Dentro de estas categorías, las variables específicas como edad, género, clase social, nivel educativo, etnia, religión, estado civil y ocupación tienen un rol central en modelar las experiencias y oportunidades individuales. Por ejemplo, la edad y el género determinan etapas de la vida y expectativas sociales, mientras que la clase social y el nivel educativo afectan el acceso a recursos y la movilidad social. De igual forma, la etnia y la religión aportan diversidad cultural, aunque también pueden ser origen de discriminación o conflictos.

La relevancia de la variable social es particularmente evidente en el diseño y operación de infraestructuras, como los aeropuertos, especialmente en el contexto chileno. Al igual que las variables ambientales y económicas, la variable social desempeña un papel crucial en la planificación de proyectos de infraestructura sustentable. Considerar esta variable implica atender las necesidades y expectativas de las comunidades locales y evaluar los impactos sociales, culturales y económicos de las infraestructuras. Este enfoque permite desarrollar proyectos que no solo satisfagan demandas técnicas, sino que también contribuyan al bienestar social y al desarrollo sostenible.

Por ejemplo, la implementación de consultas previas, talleres y encuestas permite comprender mejor las percepciones y preocupaciones de las comunidades afectadas por un aeropuerto. Estos procesos pueden revelar necesidades específicas, como empleos locales o mejoras en la conectividad, que influyan en el diseño y operación del proyecto. Además, integrar elementos culturales locales en los aeropuertos puede fortalecer la identidad cultural y el sentido de pertenencia de las comunidades, promoviendo una mayor aceptación y beneficio mutuo.

La variable social también tiene un impacto significativo en el desarrollo económico regional, especialmente a través del turismo y la creación de empleos relacionados con las actividades aeroportuarias. Esta interacción refuerza el papel de las

infraestructuras como catalizadores del crecimiento económico y social, destacando la importancia de un enfoque inclusivo en la planificación.

6.8.4.2 VARIABLE SOCIAL EN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

La variable social en la construcción sostenible aborda los aspectos que impactan directamente a las personas y comunidades, incluyendo la salud y el bienestar de los ocupantes, la equidad social, la accesibilidad y el impacto socioeconómico en las comunidades locales. Integrar estos factores en los procesos de construcción de infraestructura no solo mejora la calidad de vida de los habitantes, sino que también crea comunidades más resilientes y equitativas.

La implementación de certificaciones sostenibles fomenta la inclusión de aspectos sociales en proyectos de infraestructura, generando un impacto positivo que trasciende la funcionalidad técnica del proyecto. Este enfoque permite que las comunidades perciban beneficios tangibles e intangibles, transformando la infraestructura en un motor de desarrollo social y económico.

Uno de los pilares fundamentales de esta integración es la participación de manera activa de las comunidades locales durante la planificación y diseño del proyecto. Este proceso fortalece la confianza, mejora las relaciones con los grupos de interés y asegura que las necesidades locales sean consideradas. Además, se promueve la contratación de mano de obra local y el uso de proveedores regionales, estimulando así la economía local.

Plasmar un requerimiento social en la infraestructura implica integrar elementos tangibles y funcionales que respondan a las necesidades de la comunidad y promuevan su bienestar. Esto se logra a través de estrategias de diseño, construcción y operación que trascienden el propósito técnico del proyecto y generan beneficios significativos para las personas y el entorno.

La accesibilidad universal es otro aspecto crucial. Diseñar infraestructura inclusiva, con rampas, ascensores accesibles, pasarelas seguras y señalización adecuada, asegura que todas las personas, incluidas aquellas con discapacidades, puedan beneficiarse de manera equitativa.

Asimismo, la infraestructura puede incorporar elementos educativos y de sensibilización, como centros de interpretación ambiental que informen sobre biodiversidad local, cambio climático y sostenibilidad, fortaleciendo el conocimiento y la conciencia de la comunidad.

La mitigación de impactos negativos también es fundamental. Medidas como la instalación de barreras vegetales pueden reducir la contaminación acústica y visual en áreas cercanas a la infraestructura, mejorando el entorno y demostrando un compromiso con el bienestar comunitario.

Finalmente, la infraestructura puede actuar como un catalizador de desarrollo económico y social mediante la generación de empleo y programas de formación profesional. Al priorizar la contratación local y la capacitación, se fomenta el desarrollo de habilidades en la comunidad, permitiendo que sus habitantes participen activamente en el proyecto y disfruten de sus beneficios a largo plazo. Aquí algunos de los aspectos relevantes que impactan cuando se construye:

Tabla 6-49: Aspectos sociales que impactan directamente la construcción de infraestructura a personas y comunidades

Impacto	Descripción
Salud y Bienestar de los Ocupantes	Uno de los aspectos más fundamentales de la variable social es la salud y el bienestar de los ocupantes. Los edificios sostenibles deben proporcionar entornos saludables para sus ocupantes optimizando la calidad del aire interior, la iluminación natural y el confort térmico pueden mejorar significativamente la salud física y mental de los ocupantes.
Equidad Social y Accesibilidad	La equidad social y la accesibilidad son también componentes cruciales. Las edificaciones sostenibles deben promover la equidad y accesibilidad para todos los usuarios. La idea es garantizar que los edificios sostenibles sean accesibles para todas las personas, independientemente de su capacidad física, nivel socioeconómico o edad. Esto puede incluir la implementación de diseños universales que permitan el acceso a personas con discapacidades. Además, deben considerar la equidad en el empleo y la oportunidad económica para las comunidades locales.
Impacto en la Comunidad	El impacto de un proyecto de construcción en la comunidad local también es un factor importante. El involucramiento de la comunidad en las fases de diseño y construcción puede asegurar que los edificios cumplan con las necesidades y valores locales. Esto puede incluir el fomento de economías locales mediante la contratación de mano de obra local.

Impacto	Descripción
	y el uso de materiales de origen local, así como el desarrollo de infraestructuras que benefician a la comunidad, como espacios públicos y áreas verdes. La participación comunitaria, a través de consultas y talleres, puede promover una mayor aceptación y uso del espacio construido, fomentando un sentido de pertenencia y cuidado.

Fuente: *Elaboración propia*

6.8.4.3 COMPROMISOS PAÍS ASOCIADOS A VARIABLE SOCIAL EN URBANISMO E INFRAESTRUCTURA

Es importante destacar que Chile no tiene compromisos internacionales vinculantes específicos en esta materia, no obstante, el país está avanzando en la incorporación de criterios de sostenibilidad en su dimensión social en sus políticas y normativas de construcción, así como en la promoción de certificaciones voluntarias que abordan aspectos identificables para esta dimensión. En cuanto a política y normativas relevantes, se identifican las siguientes:

- a) *Política Nacional de Desarrollo Urbano (PNDU)*: Esta política es un instrumento estratégico que orienta y regula el desarrollo de las ciudades y centros poblados del país, promoviendo un desarrollo urbano sostenible e integrado, considerando aspectos sociales como la equidad, la inclusión y la participación ciudadana. Son varios los objetivos que busca, entre los cuales se encuentra como garantizar el acceso equitativo a oportunidades y servicios y fomentar la diversificación productiva, la innovación, el emprendimiento y la creación de empleo en las ciudades. También busca promover la sostenibilidad ambiental y la movilidad sostenible, comprendiendo la diversidad cultural y fortaleciendo la participación ciudadana.
- b) *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (PANCC)*: Este plan estableció objetivos, metas y acciones para abordar el cambio climático en Chile, tanto en términos de mitigación (reducir emisiones de GEI), como adaptación (preparación para los impactos). Sus objetivos incluyen medidas para mejorar la eficiencia energética en edificaciones y reducir las emisiones de GEI en el sector construcción, contribuyendo indirectamente al bienestar social. Actualmente, el gobierno está trabajando en la actualización de este plan para alinearlo con los nuevos compromisos internacionales y las metas más ambiciosas establecidas en la Ley Marco de Cambio Climático.
- c) *Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (ENCS)*: Esta estrategia busca fomentar la construcción sustentable en Chile, es un instrumento clave en Chile para impulsar la incorporación de criterios de sustentabilidad en el sector de la construcción. Busca promover edificaciones e infraestructuras más eficientes en el uso de recursos, con menor impacto ambiental y que ofrezcan mejor calidad de vida a sus usuarios, considerando aspectos sociales como la calidad de vida de los usuarios, la participación ciudadana y el desarrollo de capacidades locales.
- d) *Manual de Desarrollo Aeroportuario (MDA)*: Este manual establece lineamientos y estándares técnicos para el diseño y dimensionamiento de terminales de pasajeros en los aeropuertos de Chile. Detalla conceptos y procesos fundamentales, como el check-in, los controles de seguridad, las puertas de embarque y el manejo de equipaje. Asimismo, proporciona fórmulas y metodologías para calcular las superficies requeridas en cada área de la terminal, basándose en niveles de servicio definidos. En particular, los capítulos 8 y 9 dan cuenta en particular sobre aspectos relativos a variables sociales, en específico el capítulo, 8 indica aspectos sobre el diseño universal para usuarios con movilidad reducida identificando tipologías de discapacidad para abordar lo más amplio posible la necesidad en este aspecto. En tanto en el capítulo 9, busca simplificar el viaje a los pasajeros con la utilización de nuevas tecnologías en la experiencia con la operación dentro de las instalaciones, y además la seguridad tanto del pasajero como del funcionario permitiéndole alcanzar la confianza suficiente dentro del terminal.

6.8.4.4 AIRPORT DEVELOPMENT REFERENCE MANUAL (ADRM)

El Airport Development Reference Manual (ADRM), en su edición número 12, ha dado un paso significativo hacia la integración de las variables sociales en el diseño y la gestión de aeropuertos. Este manual, considerado una referencia fundamental en la industria de la aviación, reconoce que los aeropuertos son más que infraestructuras de transporte; son nodos sociales y económicos que interactúan con las comunidades locales y globales. Esta se centra en presentar principios y mejores prácticas que pueden ser aplicados en cualquier aeropuerto. Por ejemplo, el manual describe cómo diseñar terminales que sean accesibles para personas con movilidad reducida, cómo reducir el ruido en las comunidades circundantes o cómo fomentar la participación de las comunidades locales en los procesos de planificación.

Este cuadro se proporciona una visión general de las variables sociales que el ADRM No. 12 considera relevantes. Sin embargo, es importante recordar que la implementación de estas variables requiere un enfoque personalizado y adaptado a las características de cada aeropuerto y su entorno.

Tabla 6-50: Cuadro análisis de variables relevantes consideradas por la ADRM

Variable Social	Descripción	Ejemplos en la práctica
Necesidades de los pasajeros	Satisfacción de las expectativas y requerimientos de los viajeros.	Espacios cómodos, señalización clara, opciones de alimentación variadas, conexión a internet gratuita, servicios de asistencia para pasajeros con necesidades especiales.
Relaciones con la comunidad e Integración con el entorno	Armonización del aeropuerto con la comunidad y el entorno urbano y rural.	Minimización del ruido, diseño arquitectónico que se integre con el paisaje, programas de participación comunitaria, creación de empleo local.
Sostenibilidad	Adopción de prácticas que reduzcan el impacto ambiental.	Uso de energías renovables, gestión eficiente de residuos, reducción de emisiones de carbono, materiales de construcción sostenibles.
Inclusión y diversidad	Creación de un entorno accesible y acogedor para todos los usuarios.	Diseño universal de las instalaciones, señalización en múltiples idiomas, servicios adaptados a las necesidades de personas con discapacidad, promoción de la diversidad cultural.

Fuente: Elaboración propia en base a IATA ADRM 12th

6.8.4.5 AEROPUERTOS CON INCLUSIÓN DE VARIABLES SOCIALES

6.8.4.5.1 AEROPUERTO SCHIPHOL DE ÁMSTERDAM – PAÍSES BAJOS

El Aeropuerto de Schiphol, gestionado por Royal Schiphol Group, ha integrado variables sociales fundamentales en su diseño, construcción y operación, promoviendo condiciones laborales dignas, relaciones positivas con la comunidad local, diversidad laboral y sostenibilidad ambiental. Estas iniciativas reflejan un compromiso con el bienestar de las personas y el entorno, garantizando un desarrollo equilibrado y responsable.

En cuanto a las condiciones de trabajo, Schiphol enfrentó desafíos relacionados con la seguridad y el bienestar laboral, particularmente entre los trabajadores de manejo de equipaje y seguridad. Estos problemas incluían cargas de trabajo físicas excesivas, salarios bajos y equipos inadecuados. En respuesta, el aeropuerto implementó tecnologías avanzadas como sistemas automatizados de elevación y robots de carga, lo que redujo significativamente las tareas manuales pesadas y mejoró la eficiencia operativa. Además, se diseñaron y renovaron áreas de trabajo con criterios ergonómicos y de seguridad, y se crearon zonas de descanso mejor equipadas, asegurando un entorno laboral más cómodo y seguro.

La relación con las comunidades locales, afectadas por el ruido generado por las operaciones del aeropuerto, también fue un tema prioritario. Schiphol introdujo un toque de queda nocturno entre las 00:00 y las 06:00 horas, limitando los vuelos y reduciendo significativamente las molestias acústicas. Asimismo, se adoptaron políticas operativas más estrictas, como la prohibición de jets privados y el uso limitado de aviones ruidosos. En términos de infraestructura, se emplearon tecnologías de reducción de ruido, incluyendo materiales aislantes en terminales y áreas operativas. Estas acciones no solo mejoraron la calidad de vida de los residentes, sino que también fortalecieron la relación entre el aeropuerto y la comunidad.

La diversidad e inclusión laboral fue otro aspecto central en las políticas del aeropuerto. Con un bajo nivel inicial de representación de género y diversidad en roles clave, Schiphol implementó programas de contratación inclusiva, promoviendo la equidad de género, especialmente en áreas como la seguridad. En paralelo, se adaptaron las nuevas infraestructuras para garantizar la accesibilidad de todos los empleados, fomentando un entorno laboral inclusivo y equilibrado.

La sostenibilidad ambiental y social también ha sido prioritaria en las operaciones y el diseño de Schiphol. El aeropuerto adoptó soluciones de infraestructura verde, como la implementación de techos verdes que actúan como reguladores térmicos, amortiguadores de agua y promotores de la biodiversidad. Estas iniciativas forman parte de un enfoque más amplio hacia la sostenibilidad, que incluye la reducción de emisiones y el uso de energía renovable. En las operaciones diarias, se han implementado prácticas de eficiencia energética y gestión sostenible del agua, beneficiando tanto al medio ambiente como a las comunidades cercanas.

6.8.4.5.2 AEROPUERTO DE CHANGI - SINGAPUR

El Aeropuerto de Changi destaca como un modelo global en diseño y operación al integrar soluciones innovadoras que abordan problemas sociales clave. Desde la seguridad laboral hasta la sostenibilidad ambiental, Changi ha implementado prácticas que benefician tanto a empleados como a pasajeros, creando un entorno eficiente, accesible y respetuoso con el medio ambiente.

En cuanto a seguridad y bienestar laboral, Changi introdujo innovaciones tecnológicas para proteger a los trabajadores y pasajeros. Un ejemplo destacado es el CASEVAC Bot, un robot utilizado en simulacros de emergencia como el Exercise Bobcat, que facilita la evacuación de víctimas en situaciones críticas, disminuyendo la carga física sobre el personal de rescate. Estas tecnologías optimizan la respuesta operativa y reducen los riesgos inherentes a las emergencias, mejorando la eficiencia y seguridad general.

Figura 6-39: Práctica de ejercicios de emergencia de la División de Servicios de Emergencia



Fuente: Reporte anual 2023/24 Changi airport group

La inclusión y diversidad en el empleo han sido prioritarias en las políticas laborales del aeropuerto. Gran parte de los empleados está cubierta por acuerdos colectivos, lo que garantiza condiciones laborales justas. Además, programas como *i-Fridays* permiten a los trabajadores participar en proyectos de innovación y desarrollo más allá de sus tareas regulares, promoviendo un entorno laboral dinámico y participativo. Este enfoque fomenta la capacitación continua y mejora las perspectivas profesionales.

En cuanto al diseño inclusivo y accesible, la expansión de la Terminal 2 (T2) incorpora carriles automatizados para pasajeros con discapacidades y familias con niños, haciendo más eficiente y cómoda su experiencia de viaje. Además, los pasillos de inmigración fueron rediseñados para gestionar grandes volúmenes de pasajeros, integrando soluciones automatizadas que reducen tiempos de espera y mejoran la accesibilidad.

La atención al bienestar de los empleados se refleja en espacios de trabajo renovados que incluyen zonas de descanso y creatividad, como el *Amazon Tea Hut*. Estas instalaciones fomentan la innovación y el bienestar mental, mejorando el ambiente laboral y la productividad. Estas iniciativas subrayan el compromiso del aeropuerto con la salud y el desarrollo integral de su personal.

En el ámbito del diseño arquitectónico, la integración de la naturaleza es un componente central. En T2, elementos como jardines verticales, materiales naturales y atracciones como *The Wonderfall*, una cascada digital rodeada de vegetación, crean un ambiente sensorialmente enriquecedor. Estos espacios no solo mejoran la estética, sino que también impactan positivamente en el estado de ánimo y bienestar de los usuarios.

Changi también ha adoptado prácticas de construcción sostenible, implementando sistemas de refrigeración que reducen el consumo de energía en un 30% e instalando paneles solares que constituirán el sistema fotovoltaico más grande de Singapur en un solo sitio para 2025. Estas medidas minimizan la huella ambiental del aeropuerto y alinean su crecimiento con objetivos sostenibles.

Por último, el diseño de las nuevas terminales incluye espacios de recreación y bienestar para los pasajeros, como parques infantiles y jardines. Ejemplos como el parque *2 Bears Hideout* proporcionan áreas seguras y entretenidas para las familias, mejorando la experiencia general del viaje.

6.8.4.6 HERRAMIENTAS DE CERTIFICACIÓN QUE CONTEMPLAN VARIABLES SOCIALES

La construcción sostenible se ha convertido en un imperativo para reducir el impacto ambiental y promover prácticas ecológicas, es así que la sostenibilidad se ha convertido en un tema clave en la industria de la construcción en las últimas décadas y con un enfoque creciente en la reducción del impacto ambiental de los edificios. Sin embargo, es crucial recordar que la sostenibilidad no se limita únicamente a consideraciones ambientales; las dimensiones sociales también desempeñan un papel fundamental en la construcción. No obstante, el enfoque inicial de las certificaciones de construcción sostenible, como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) y BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), se centraba principalmente en los aspectos ambientales y económicos, dejando en segundo plano la dimensión social. No obstante, la certificación Envision Zofnass Program for Sustainable Infrastructure de Harvard University, siendo un sistema de calificación integral que evalúa el desempeño ambiental y social de proyectos de infraestructura, integra la variable social en cuanto evalúa la variable “calidad de vida” como uno de los cinco pilares fundamentales de la certificación, considerando aspectos que afectan el bienestar de las comunidades circundantes.

Con todo, en los últimos años ha habido un cambio significativo hacia la inclusión de la variable social en estas certificaciones, reconociendo que una construcción verdaderamente sostenible debe también cumplir con criterios sociales y comunitarios. En definitiva, al integrar la variable social en las certificaciones de construcción sostenible, se garantiza que los proyectos no solo sean respetuosos con el medio ambiente, sino también con las comunidades y las personas que los habitan. En consecuencia, los sistemas de certificación de edificios sostenibles han comenzado a adaptar sus criterios para incluir estos aspectos sociales. A continuación, un resumen de cómo las certificaciones incorporan o han ampliado sus categorías de puntuación para incorporar aspectos relacionados con la salud y el bienestar, la equidad y la justicia social:

- LEED: En las versiones más recientes de LEED, se han introducido aspectos como "Diseño para la equidad social", que considera los impactos sociales y económicos en las comunidades circundantes. Además, la categoría "Salud y Bienestar" abarca una serie de variables que promueven ambientes interiores saludables a través de la calidad del aire, la iluminación y el confort.
- BREEAM: BREEAM ha desarrollado una sección específica llamada "Bienestar y Salud", donde ha integrado en sus evaluaciones el bienestar de los ocupantes y el impacto social de los proyectos, incluyendo criterios para la mejora del ambiente interior y la accesibilidad. También se evalúa el impacto de los proyectos en la economía local y la mejora de la calidad de vida de las comunidades.
- ENVISION: Envision integra la variable social principalmente en su evaluación a través de aspectos que abordan la calidad de vida, la participación de las partes interesadas, el desarrollo de la fuerza laboral, y la resiliencia social y económica. Al considerar estos aspectos, Envision promueve proyectos de infraestructura que no solo son ambientalmente sostenibles, sino también socialmente responsables y beneficiosos para la comunidad.

A continuación, se presenta un resumen comparativo de cómo estas certificaciones abordan la variable social:

Tabla 6-51: Comparación de cómo aborda la variable social las certificaciones LEED, BREEAM y ENVISION

Aspecto Social	Envision (v3)	BREEAM	LEED (v4/v4.1)
Calidad de Vida	Se enfoca en mejorar la conectividad, movilidad, salud, seguridad, confort y placer de los usuarios y la comunidad. Incluye créditos sobre transporte público, espacios públicos, calidad del aire y del agua, reducción del ruido, seguridad vial, diseño estético y áreas verdes.	<u>Evalúa</u> la calidad del ambiente interior (iluminación natural, ventilación, confort térmico y acústico) y exterior (acceso a espacios verdes, biodiversidad), así como la salud y bienestar de los ocupantes (materiales saludables, acceso a servicios).	Se enfoca en la ubicación del proyecto (acceso a transporte público, servicios básicos, espacios abiertos de calidad) y la calidad ambiental interior (calidad del aire, confort térmico, acústica, luz natural).
Participación de las Partes Interesadas	<u>Evalúa</u> el grado de involucramiento de la comunidad y las partes interesadas en el proceso de planificación y diseño del proyecto.	Promueve la participación de los usuarios en la gestión del edificio y la consideración de sus necesidades y preferencias. En BREEAM Communities, evalúa la participación comunitaria en el desarrollo urbanístico.	Fomenta la participación comunitaria en el proceso de diseño y construcción, y valora la implementación de programas de educación y divulgación sobre la sostenibilidad del proyecto.
Desarrollo de la Fuerza Laboral	<u>Evalúa</u> cómo el proyecto contribuye al desarrollo de la fuerza laboral local, incluyendo la capacitación de trabajadores, la contratación de empresas locales y la promoción de la diversidad y la inclusión.	No tiene un enfoque específico en el desarrollo de la fuerza laboral, pero puede reconocer proyectos que implementen prácticas laborales justas y equitativas a través de créditos relacionados con la gestión responsable del edificio.	No tiene un enfoque específico en el desarrollo de la fuerza laboral, pero puede reconocer proyectos que generen empleo local y promuevan la capacitación de trabajadores en temas de sostenibilidad a través de créditos de innovación.
Materiales Responsables	<u>Evalúa</u> el uso de materiales de construcción sostenibles y responsables, considerando su impacto social y ambiental a lo largo de su ciclo de vida.	Fomenta el uso de materiales sostenibles y saludables, minimizando la exposición a sustancias tóxicas y promoviendo el uso de materiales de origen local y reciclado.	Fomenta el uso de materiales sostenibles, incluyendo aquellos con contenido reciclado, de origen local, y con bajas emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV).
Resiliencia Social y Económica	<u>Evalúa</u> cómo el proyecto contribuye a la resiliencia social y económica de la comunidad, incluyendo la creación de empleos, el apoyo a la economía local y la promoción de la equidad social.	No tiene un enfoque específico en la resiliencia social y económica, pero puede reconocer proyectos que contribuyan al desarrollo económico local y a la creación de empleo a través de créditos relacionados con la gestión responsable del edificio y la elección de materiales. En BREEAM Communities, evalúa el impacto socioeconómico del desarrollo, incluyendo la creación de empleo y la diversidad social.	No tiene un enfoque específico en la resiliencia social y económica, pero puede reconocer proyectos que implementen estrategias para mejorar la calidad de vida de la comunidad y promover la equidad social a través de créditos de innovación.

Fuente: Elaboración propia

6.8.4.6.1 CERTIFICACIÓN DE EDIFICIO SUSTENTABLE (CES) CHILE

El sistema Certificación Edificio Sustentable, es sistema voluntario de certificación nacional y que evalúa la sostenibilidad de edificios en Chile. Esta certificación, se compone de 2 etapas. La primera, Pre-certificación, en donde se evalúa la arquitectura e instalaciones del edificio y está asociada al fin de la etapa de diseño. Y la segunda, la Certificación donde se evalúa la arquitectura, instalaciones y proceso de construcción del edificio, y ésta se obtiene al final de la construcción. Podrá aplicarse a los proyectos construidos, con o sin pre-certificación.

Si bien esta certificación no contempla una dimensión/variable social en específico, entre los diversos criterios que evalúa la sostenibilidad de edificios en Chile, incluyen aspectos que inciden en la calidad de vida de los usuarios y que podríamos

considerar sociales. Como el diseño que necesariamente involucra, por ejemplo, la accesibilidad universal y espacios de calidad en su uso para el usuario. Como así también, el criterio de la calidad del ambiente interior que permite el confort de las personas que hacen uso de las instalaciones, tanto usuarios como trabajadores. De igual modo, las medidas de control y mitigación durante la construcción, específicamente el cumplimiento al artículo 5.8.3 de la OGUC, dice relación con el cuidado que debe tener la faena de construcción en el entorno circundante a la obra y la afectación mínima a vecinos. Y, por último, la gestión de operación y mantenimiento obliga a realizar encuestas de satisfacción al usuario, buscando lograr evaluar la experiencia con los espacios utilizados y la afectación probable en su la calidad su vida.

6.8.4.6.2 AIRPORT CARBON ACCREDITATION – ACA

El Programa de Acreditación de Huella de Carbono en Aeropuertos (ACA), es una iniciativa global del Consejo Internacional de Aeropuertos (ACI) que busca reducir las emisiones de carbono en el sector aeroportuario. Aunque su enfoque principal es ambiental, el programa también tiene impactos positivos en la variable social. Particularmente en Chile, este programa se ha utilizado en el Aeropuerto de la Capital de Chile, Nuevo Pudahuel, donde además de las medidas de reducción de emisiones que impacta positivamente a la comunidad circundante, se han implementado programas de responsabilidad social empresarial.

La implementación del programa ACA puede demostrar cómo la gestión ambiental en aeropuertos tendría un impacto positivo en la sociedad, generando beneficios para las comunidades, la economía y el medio ambiente. Toda vez que promueve la participación ciudadana, el desarrollo local y la mejora de la calidad de vida de las personas. Aquí algunas variables sociales donde impacta la ACA:

- Mejora de la calidad de vida en comunidades aledañas: La reducción de emisiones de carbono y ruido mejora la calidad del aire y disminuye la contaminación acústica, beneficiando directamente la salud y bienestar de las comunidades cercanas a los aeropuertos. En Chile, esto es especialmente relevante en zonas urbanas donde la densidad poblacional es alta y la calidad del aire puede ser un problema.
- Creación de empleo local: La implementación de medidas de eficiencia energética y energías renovables en los aeropuertos chilenos genera oportunidades laborales en sectores como la construcción sostenible, instalación y mantenimiento de paneles solares, mantenimiento de equipos eficientes, etc. Esto contribuye al desarrollo económico local y a la mejora de las condiciones de vida de las personas.
- Desarrollo económico regional: Los aeropuertos certificados atraen más turismo y comercio, impulsando la economía local y regional. En Chile, donde el turismo es un sector importante, esto puede tener un impacto significativo en la generación de ingresos y empleo en las regiones donde se ubican los aeropuertos.
- Fortalecimiento de la relación con la comunidad: El programa ACA fomenta la participación de las comunidades locales en la gestión de la huella de carbono del aeropuerto. Esto promueve la transparencia, el diálogo y la colaboración, fortaleciendo la relación entre el aeropuerto y su entorno social. En Chile, esto se ha traducido en la creación de mesas de trabajo y canales de comunicación para involucrar a las comunidades en la toma de decisiones y en la implementación de medidas de sostenibilidad.
- Orgullo y sentido de pertenencia: La certificación ACA puede generar un sentimiento de orgullo y pertenencia en las comunidades locales, al ver que su aeropuerto se preocupa por el medio ambiente y el bienestar de la población. Esto puede fortalecer el tejido social y fomentar la participación ciudadana en iniciativas de sostenibilidad.

6.8.5 Propuestas técnicas para herramienta CES de la subetapa 9.3 – Cambio climático

6.8.5.1 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ANÁLISIS PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CLIMÁTICOS FUTUROS EN ZONA DE EMPLAZAMIENTO DE AEROPUERTOS

Se propone un requerimiento obligatorio, en el que todo proyecto que incluya un terminal o refugio de pasajeros aeroportuario realice un análisis sobre la identificación de riesgos climáticos futuros en la ubicación geográfica de la infraestructura aeroportuaria.

La definición de este requerimiento se basa en un estudio técnico que evalúa mediante un análisis teórico la evaluación de los posibles riesgos climáticos que pueden derivarse del posible impacto del cambio climático en los eventos extremos que podrían afectar a los terminales aeropuertos en Chile. Este análisis debe ser realizado sobre los datos proporcionados por la herramienta desarrollada por el Ministerio del Medioambiente ARCLIM, la cual proporciona información cartográfica relevante a nivel comunal de los riesgos que enfrentaría un aeropuerto a futuro producto del cambio climático. El enfoque de este requerimiento es garantizar que esta información proporcionada por ARCLIM pueda proveer los datos relevantes que le permitan evaluar los posibles impactos negativos del cambio climáticos en las futuras obras de infraestructuras aeroportuarias.

El objetivo de este requerimiento es garantizar que la infraestructura aeroportuaria esté diseñada para responder a las condiciones climáticas futuras, considerando escenarios que proyectan aumentos en la temperatura y cambios en la frecuencia e intensidad de precipitaciones.

Requerimientos:

Para que el proyecto cumpla con el requerimiento el estudio de factibilidad debe contener al menos los siguientes puntos:

- El análisis solicitado debe centrarse en la identificación de amenazas climáticas asociadas a la clasificación de los tipos de amenaza natural según ARCLIM a nivel de inundaciones, incendios y amenazas climáticas en las variables de temperatura media, días calurosos, olas de calor, días de hielo, días de precipitación intensa, precipitación máxima y acumulada, viento máximo diario y humedad relativa máxima diaria.
- El estudio debe analizar los riesgos asociados a fenómenos climáticos extremos, como olas de calor, lluvias intensas, o sequías prolongadas.
- El estudio debe identificar áreas del terminal que son vulnerables a cambios en las condiciones climáticas.
- El análisis debe identificar las amenazas y sus impactos derivados de los efectos de cambio climático que potencialmente podrán afectar en la zona de emplazamiento.
- El análisis deberá señalar las amenazas climáticas y priorizarlas, para ello deberá utilizar las amenazas identificadas anteriormente y proponer posibles medidas de adaptación, extraídos del marco de referencia estratégico de nivel comunal.
- Las amenazas climáticas priorizadas deben ser analizadas para conocer su comportamiento comparando su comportamiento actual y futuro, para dilucidar los factores de exposición y vulnerabilidad.
- Identificar y seleccionar medidas de adaptación que permitan disminuir los riesgos climáticos, con relación al proyecto planteado.
- Proponer indicadores para el monitoreo de la implementación de las medidas que se implementaran para reducir el riesgo frente al cambio climático.
- Como mínimo se deben evaluar cómo las variaciones en temperatura y precipitaciones, junto a episodios extremos como lo son calor extremo, frío extremo, vientos extremos, etc.
- El estudio debe cumplir con la normativa vigente en Chile, incluyendo las leyes relacionadas con cambio climático, normativas energéticas y ambientales, así como regulaciones aeroportuarias de la DAP y DGAC.

Toda la información debe ser presentado en una memoria técnica en la que se identifiquen claramente las fuentes y metodologías utilizadas junto a los resultados del análisis.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la obtención de predicciones precisas a mediano y largo plazo sobre variables climáticas tales como viento, radiación solar, tormentas, nevazones presenta una complejidad significativa, dada la naturaleza dinámica y altamente variable de dichos fenómenos.

Considerando estas dificultades y con el fin de garantizar un enfoque efectivo y operativo en la implementación del requisito propuesto, se sugiere priorizar sólo los riesgos asociados al impacto de las temperaturas medias y extremas y de precipitaciones extremas. Se estima que centrar los esfuerzos en variables climáticas relacionadas específicamente con la temperatura y lluvia, junto con la identificación de sus riesgos asociados pueden ayudar a reducir y amortiguar los efectos adversos asociados a estas es una aproximación correcta en la primera versión de la certificación.

6.8.5.2 PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO DE INSTALACIONES RESILIENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO

Se propone un crédito que reconozca el diseño de sistemas e instalaciones resilientes al cambio climático con el propósito de fomentar el diseño instalaciones y sistemas críticos, como los de climatización, ventilación y drenaje de aguas lluvias, respondan adecuadamente a los escenarios climáticos futuros.

El objetivo de este requerimiento es diseñar e implementar sistemas de climatización, ventilación, drenaje de aguas lluvias y/o componentes constructivos que respondan de manera efectiva a los escenarios climáticos futuros, considerando proyecciones de aumento de temperatura, cambios en la frecuencia e intensidad de precipitaciones, así como eventos de calor extremo, frío extremo, vientos fuertes y nevazones según corresponda en la zona climática estudiada.

Para cumplir con este requerimiento, el diseño de los sistemas debe considerar la información obtenida del estudio técnico planteado en el requerimiento obligatorio del ítem 6.8.5.1 Propuesta de requerimiento: Análisis para la identificación de riesgos climáticos futuros en zona de emplazamiento de aeropuertos. Se debe demostrar el cumplimiento mediante las siguientes actividades y ejecuciones:

- Diseño e implementación de un sistema de climatización y ventilación capaz de funcionar eficientemente frente a eventos de temperaturas extremas futuras, tanto de calor como de frío extremo.
- Diseño e implementación de sistemas de climatización y ventilación flexibles y adaptables a las condiciones climáticas, permitiendo modificaciones para aumentar o disminuir sus capacidades en función de las condiciones del entorno.
- Diseño e implementación de soluciones constructivas resistentes a vientos fuertes, incluyendo refuerzos estructurales y anclajes que eviten daños o desprendimientos durante tormentas o temporales intensos.
- Diseño e implementación de sistemas de drenaje capaces de soportar lluvias torrenciales, considerando soluciones que eviten bloqueos y colapsos, así como sistemas de almacenamiento de agua de lluvia para mitigar inundaciones.
- Implementación de sistemas de gestión sensores para el monitoreo en tiempo real de los niveles de agua, calidad y posibles sobrecargas, ajustando automáticamente el flujo según las condiciones climáticas. Además, se debe monitorear las emisiones de gases como CO₂, CH₄ y N₂O junto a respectivos softwares de gestión de energía y sistemas de recolección y análisis de datos.
- Implementación de filtros y sistemas de separación de contaminantes sólidos para garantizar que el agua que fluye por los sistemas de drenaje no posea sólidos que bloqueen el sistema.
- Diseño e implementación de soluciones frente a nevazones, como refuerzos estructurales que soporten la acumulación de nieve y sistemas de deshielo para evitar sobrecargas en techos y estructuras.
- Existe la opción de considerar el diseño e implementación de otras soluciones específicas que respondan a los riesgos climáticos identificados en el requerimiento 6.8.5.1 Propuesta de requerimiento: Análisis para la identificación de riesgos climáticos futuros en zona de emplazamiento de aeropuertos, como lo podrían ser protección contra tormentas eléctricas, medidas para prevenir daños por sequías prolongadas o eventos combinados de riesgos climáticos.

Para comprobar el cumplimiento del requerimiento se debe elaborar una memoria técnica de los sistemas diseñados e implementados, que incluya cálculos que demuestren la capacidad de adaptación ante diferentes escenarios climáticos. La memoria debe incluir análisis de proyecciones climáticas futuras y justificar la selección de los sistemas y materiales utilizados según la metodología propuesta.

Todos los sistemas deben estar diseñados en su capacidad para cumplir con las condiciones climáticas previstas en escenarios futuros a 20 años.

El nivel de cumplimiento del requerimiento se evalúa de la siguiente manera:

- No cumple: El diseño de los sistemas de climatización, ventilación y drenaje de aguas no considera escenarios futuros de cambio climático.
- Aceptable: En el diseño (precertificación) e instalación (certificación) se considera uno de los sistemas activos los riesgos climáticos futuros, demostrándose que seguirán cumpliendo sus funciones en escenarios futuros.
- Bueno: En el diseño (precertificación) e instalación (certificación) se consideran al menos dos de los sistemas activos los riesgos climáticos futuros, demostrándose que seguirán cumpliendo sus funciones en escenarios futuros.
- Muy Bueno: En el diseño (precertificación) e instalación (certificación) se consideran al menos tres de los sistemas activos los riesgos climáticos futuros, demostrándose que seguirán cumpliendo sus funciones en escenarios futuros.

Durante la construcción, se debe verificar que las instalaciones fueron ejecutadas conforme a los planos y especificaciones detalladas en la memoria técnica, la cual debe incluir cálculos, simulaciones y fichas que evidencien la capacidad de la infraestructura para adaptarse a cambios en temperatura, precipitaciones y otros factores climáticos. Además, se deben presentar documentos que acrediten la adquisición e instalación de las instalaciones correspondiente.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la obtención de predicciones precisas a mediano y largo plazo sobre variables climáticas tales como viento, radiación solar, tormentas, nevazones, precipitaciones y eventos extremos de lluvias presenta una complejidad significativa, dada la naturaleza dinámica y altamente variable de dichos fenómenos.

Considerando estas dificultades y con el fin de garantizar un enfoque efectivo y operativo en la implementación del crédito propuesto, se sugiere priorizar aquellos sistemas orientados a la mitigación del impacto de las temperaturas medias y extremas. Se estima que centrar los esfuerzos en variables climáticas relacionadas específicamente con la temperatura, junto con el diseño y la aplicación de sistemas que puedan reducir y amortiguar los efectos adversos asociados a esta condición es una aproximación correcta en la primera versión de la certificación. De igual manera, la fusión entre los créditos Oy 6.8.5.3 es posible entregando niveles según si las estructuras, instalaciones o ambas cumplen con los requisitos propuestos.

6.8.5.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: DISEÑO INFRAESTRUCTURA RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

El diseño resiliente de infraestructura debe anticiparse a los desafíos del cambio climático, integrando medidas de mitigación y adaptación, para este caso, en proyectos aeroportuarios. La incorporación de análisis climáticos prospectivos, el ajuste a estándares normativos y la planificación adecuada de escorrentías y demandas energéticas permite minimizar riesgos operativos y promover la sostenibilidad.

El objetivo de este requerimiento es garantizar que la infraestructura aeroportuaria esté diseñada para responder a las condiciones climáticas futuras, considerando escenarios que proyectan aumentos en la temperatura y cambios en la frecuencia e intensidad de precipitaciones.

Para cumplir con este requerimiento, el diseño de la infraestructura aeroportuaria debe considerar la información obtenida del estudio técnico planteado en el requerimiento obligatorio "Análisis para la identificación de riesgos climáticos futuros en

zona de emplazamiento de aeropuertos” de tal manera que se aborden las áreas críticas específicas del aeropuerto. Se debe demostrar el cumplimiento mediante las siguientes actividades y ejecuciones:

- Diseñar sistemas pasivos considerando el cambio climático que permitan mantener y reducir la necesidad de climatizar los espacios interiores frente a diferentes escenarios climáticos futuros.
- Diseñar e implementar infraestructura verde y azul para la absorción, captura y filtraje de agua, aliviando la carga en momentos críticos, además de reducir el efecto isla de calor.
- Diseñar e implementar infraestructura modular que de flexibilidad para su ampliación o reducción de tamaño ante las diferentes necesidades que puedan surgir en un futuro.
- Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica de los sistemas diseñados e implementados, que incluya cálculos y/o simulaciones que demuestren la capacidad de adaptación ante diferentes escenarios climáticos.

El nivel de cumplimiento del requerimiento se evalúa de la siguiente manera:

- No cumple: El diseño no considera escenarios futuros de cambio climático.
- Bueno: Se consideran al menos tres estrategias en el diseño y/o ejecución de la infraestructura que permitan responder ante los riesgos climáticos futuros.
- Muy Bueno: Se consideran al menos cinco estrategias en el diseño y/o ejecución de la infraestructura que permitan responder ante los riesgos climáticos futuros.

Para verificar el cumplimiento de este crédito en la etapa de diseño, se debe asegurar que los proyectos consideren información obtenida del análisis climático propuesto en el ítem 10 y generando con esa información archivos climáticos siguiendo la metodología propuesta en la norma ISO 15927-4, identificando riesgos futuros específicos del emplazamiento del aeropuerto. Esto implica diseñar sistemas pasivos que reduzcan la necesidad de climatización interior en escenarios climáticos variados, implementar infraestructura verde y azul para gestionar escorrentías y mitigar el efecto isla de calor, y optar por infraestructura modular que permita ajustes flexibles según las necesidades futuras. Durante la construcción, se debe verificar que estas soluciones fueron ejecutadas conforme a los planos y especificaciones detalladas en la memoria técnica, la cual debe incluir cálculos y simulaciones que evidencien la capacidad de la infraestructura para adaptarse a cambios en temperatura, precipitaciones y otros factores climáticos.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la obtención de predicciones precisas a mediano y largo plazo sobre variables climáticas tales como viento, radiación solar, tormentas, nevazones, precipitaciones y eventos extremos de lluvias presenta una complejidad significativa, dada la naturaleza dinámica y altamente variable de dichos fenómenos.

Considerando estas dificultades y con el fin de garantizar un enfoque efectivo y operativo en la implementación del crédito propuesto, se sugiere priorizar aquellas estructuras orientadas a la mitigación del impacto de las temperaturas medias y extremas. Se estima que centrar los esfuerzos en variables climáticas relacionadas específicamente con la temperatura, junto con el diseño y la aplicación de estructuras que puedan reducir y amortiguar los efectos adversos asociados a esta condición es una aproximación correcta en la primera versión de la certificación.

6.8.6 Propuestas técnicas para herramienta CES de la subetapa 9.3 – Infraestructura verde y azul

6.8.6.1 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE CUBIERTAS Y MUROS VERDES

Se propone un requerimiento obligatorio en el que todo proyecto que incluya una terminal de pasajeros aeroportuaria, sin importar la escala, realice un estudio de factibilidad de instalación de techos y muros verdes. El estudio debe evaluar la viabilidad de incorporar cubiertas y muros verdes en la infraestructura aeroportuaria, considerando las condiciones locales, la fauna autóctona y migratoria, y las especies vegetales de bajo consumo hídrico que se encuentren adaptadas o sean nativas de la zona de emplazamiento.

El objetivo de este requerimiento es evaluar la implementación de techos y muros verdes en terminales de aeropuertos con el fin de mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética del aeropuerto, a su vez que estas infraestructuras verdes sean compatibles con la operación aeroportuaria.

El alcance del requerimiento aplica para terminales de aeropuertos y refugios aeroportuarios de cualquier escala en todo el país.

Para que el proyecto cumpla con el requerimiento, el estudio debe ser presentado en una memoria de cálculo y debe contener lo siguiente:

- Evaluación de las especies animales, en particular aves, que habitan o migran en la zona de emplazamiento del aeropuerto, para prevenir posibles problemas de anidación de aves con la operación aeroportuaria. El estudio debe identificar medidas de mitigación para minimizar el riesgo de colisiones o interferencias.
- Evaluación y propuestas de plantas nativas o adaptadas que sean de bajo consumo hídrico y que se puedan desarrollar en las condiciones climáticas locales.
- Evaluación y análisis de los requisitos de infraestructura para la instalación de techos y muros verdes, incluyendo la capacidad de carga, sistemas de drenaje, impermeabilización, aislamiento térmico y necesidades de mantenimiento.
- El diseño de techos debe cumplir con lo establecido en la norma NCh3626:2020, que regula los sistemas de cubiertas vegetales en Chile.
- Evaluación de los beneficios en términos de reducción del consumo energético, mejora del confort térmico interior, manejo eficiente de aguas pluviales, y la mitigación del efecto isla de calor en las terminales.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.8.6.2 PROPUESTA DE CRÉDITO: GESTIÓN EFICIENTE DE AGUAS PLUVIALES

La propuesta de este crédito se encuentra asociada a los créditos propuestos en las variables asociadas al estudio de agua, este crédito es un crédito extra que puede ser obtenido una vez que se consiga cumplir con el requerimiento “Reutilización de aguas de precipitaciones para uso sanitario sin consumo humano” asociado a agua. Este crédito tiene como objetivo de este requerimiento voluntario es promover la captación, almacenamiento y reutilización de aguas pluviales en las instalaciones del aeropuerto, contribuyendo a la reducción de escorrentía y del consumo de agua potable para usos no esenciales. Se busca la implementación de sistemas eficientes que aprovechen las lluvias para uso de inodoros, riego de áreas verdes y limpieza de exteriores y operaciones aeroportuarias.

El indicador para medir el cumplimiento de este requerimiento es la instalación de un sistema de captación de aguas pluviales, acompañado por un sistema de almacenamiento adecuado y la integración de este recurso en las operaciones cotidianas del aeropuerto. Además, se debe garantizar la reducción del uso de agua potable destinada a usos no esenciales.

El requerimiento se cumple mediante la demostración de las siguientes actividades y ejecuciones:

- Diseño (etapa precertificación) y construcción (etapa certificación) de un sistema de captación de aguas pluviales en áreas estratégicas (tejados y otras superficies impermeables).
- Diseño (etapa precertificación) e integración (etapa de certificación) de un sistema de almacenamiento (cisternas o tanques con capacidad adecuada al promedio de precipitaciones del área).
- Diseño (etapa precertificación) e implementación (etapa de certificación) de un sistema de distribución que garantice el uso del agua captada en al menos uno de los siguientes usos:
 - Riego de áreas verdes.
 - Limpieza de exteriores y operaciones aeroportuarias.
 - Uso en inodoros.
- El diseño del sistema debe incorporar medidores de flujo y volumen que permitan monitorizar y registrar el uso del agua reutilizada y debe encontrarse en armonía con lo estipulado en la norma NCh3580:2019.

Las condiciones de evaluación para este crédito son:

Cumple:

- Muy Bueno: El sistema de captación y distribución de aguas pluviales cumple con todos los requerimientos de este crédito y es utilizada en al menos dos de los usos propuestos en este crédito.
- Bueno: El sistema de captación y distribución de aguas pluviales cumple con todos los requerimientos de este crédito y es utilizada en al menos uno de los usos propuestos en este crédito.
- No cumple: El sistema de captación y distribución de aguas pluviales no está instalado o no cumple con todos los requerimientos de este crédito.

Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica del sistema diseñado (etapa precertificación) e instalado (etapa certificación), incluyendo cálculos que demuestren la capacidad de captación, almacenamiento y distribución. En esta memoria se debe indicar de manera fundamentada que el porcentaje de utilización de agua captada sobre cada tipo de uso (Riego, Limpieza, Inodoros) alcanza al menos el 20%.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES. De igual manera, por la naturaleza de este requerimiento una inclusión más natural dentro de la estructura CES sería el formar parte como un puntaje extra a los propuestos en la etapa de agua asociados a la recolección de agua.

6.8.6.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: IMPLEMENTACIÓN DE TECHOS VERDES EN INFRAESTRUCTURAS AEROPORTUARIAS

El objetivo de este requerimiento voluntario es promover la instalación de techos verdes en las infraestructuras del aeropuerto para mejorar la eficiencia energética, regular la temperatura interna y aumentar la biodiversidad local. Estos techos deben estar adaptados a las condiciones climáticas locales y contribuir a la reducción del uso de energía para la climatización de las terminales.

El indicador para medir el cumplimiento de este requerimiento es la instalación de techos verdes en un porcentaje significativo de la superficie total de la terminal, acompañada de un sistema de riego eficiente que aproveche las aguas pluviales. Además, se debe garantizar un incremento en la biodiversidad local mediante la inclusión de plantas autóctonas.

El requerimiento se cumple mediante la demostración de las siguientes actividades y ejecuciones:

- En el diseño de cubiertas verdes se debe considerar un análisis preliminar de las condiciones ambientales y estructurales de los edificios para asegurar que puedan soportar la carga adicional de los techos verdes (etapa precertificación).
- Diseñar (etapa precertificación) y construir (etapa certificación) los techos de acuerdo con la norma NCh3626:2020, priorizando la inclusión de especies vegetales endémicas o con capacidad de adaptación a las condiciones climáticas locales.
- Diseñar (etapa precertificación) y construir (etapa certificación) un sistema de drenaje y un sistema de riego eficiente que utilice aguas pluviales captadas, asegurando un uso sostenible del agua.

Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica del sistema diseñado (etapa precertificación) e instalado (etapa certificación), incluyendo cálculos que demuestren el soporte de la carga adicional, la inclusión de especies endémicas o adaptadas junto a sus necesidades hídricas y el cálculo que demuestre que las cubiertas verdes alcanzan al menos un 10% de la terminal.

Las condiciones de evaluación para este crédito son:

- Muy bueno: El aeropuerto cuenta con techos verdes instalados en al menos el 10% de la superficie de las terminales, con un sistema de riego eficiente que aprovecha el agua de lluvia. El techo verde debe cumplir con lo requerido por la norma NCh3626:2020.
- Bueno: El aeropuerto cuenta con techos verdes instalados en al menos el 5% de la superficie de las terminales, con un sistema de riego eficiente que aprovecha el agua de lluvia. El techo verde debe cumplir con lo requerido por la norma NCh3626:2020.
- No cumple: El aeropuerto no dispone de techos verdes en su infraestructura, o bien, aunque los tenga, no cumple con los requerimientos normativos.

Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica del sistema diseñado (etapa precertificación) e instalado (etapa certificación), incluyendo cálculos que demuestren el soporte de la carga adicional, la inclusión de especies endémicas o adaptadas junto a sus necesidades hídricas y el cálculo que demuestre que las cubiertas verdes alcanzan al menos un 5% de la terminal.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.8.6.4 PROPUESTA DE CRÉDITO: INCORPORACIÓN DE JARDINES VERTICALES EN ZONAS DE PROCESOS DE PASAJEROS

La propuesta de este crédito se encuentra asociada a los créditos propuestos en las variables asociadas al estudio de acústica, este crédito es un crédito extra que puede ser obtenido una vez que se consiga cumplir con el requerimiento “Jardines y parques interiores para control acústico y enriquecimiento cultural” asociado a acústica. El objetivo de este requerimiento voluntario es mejorar la calidad del aire dentro de las zonas de alta concentración del aeropuerto mediante la instalación de jardines verticales. Estos jardines deben estar diseñados para absorber dióxido de carbono (CO²) y otras partículas contaminantes, proporcionando al mismo tiempo un entorno visualmente atractivo para los pasajeros.

El indicador para medir el cumplimiento de este requerimiento es la instalación de jardines verticales en una proporción adecuada de las zonas de procesos de pasajeros debido a que son zonas de alta ocupación, así como la medición del impacto en la calidad del aire.

El requerimiento se cumple mediante la demostración de las siguientes actividades y ejecuciones:

- En el diseño se deben considerar las áreas de procesos de embarque y desembarque de flujo obligatorio con mayor flujo de pasajeros y evaluar las condiciones que estas tienen para la instalación de jardines verticales. Para que una zona califique para esta evaluación debe poseer una ocupación mayor a 2,3 personas por m² (ocupación de filas).
- Diseñar (etapa precertificación) y construir (etapa certificación) los jardines interiores priorizando la inclusión de especies vegetales endémicas o con capacidad de adaptación a las condiciones climáticas locales. Además, se debe demostrar que las especies utilizadas tienen una alta capacidad de absorción de CO₂.

Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica del sistema diseñado (etapa precertificación) e instalado (etapa certificación), incluyendo la inclusión de especies endémicas o adaptadas junto a sus necesidades hídricas y el cálculo que demuestre que los jardines interiores se encuentran en al menos el 10% de las áreas de alta ocupación de la terminal.

Las condiciones de evaluación para este crédito son:

- Muy Bueno: Existen jardines verticales que cumple con todos los requerimientos de este crédito y estos son utilizados en al menos el 20% de superficie ponderada de los recintos de alta ocupación.
- Bueno: Existen jardines verticales que cumple con todos los requerimientos de este crédito y estos son utilizados en al menos el 10% de superficie ponderada de los recintos de alta ocupación.
- No cumple: No existen jardines verticales o estos no cumple con todos los requerimientos de este crédito.

Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica del sistema diseñado (etapa precertificación) e instalado (etapa certificación), incluyendo la inclusión de especies endémicas o adaptadas junto a sus necesidades hídricas y el cálculo que demuestre que los jardines interiores se encuentran en al menos el 10% de las áreas de alta ocupación de la terminal.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES. De igual manera, por la naturaleza de este requerimiento una inclusión más natural dentro de la estructura CES sería el formar parte como un puntaje extra a los propuestos en la etapa de acústica asociados a los jardines de atenuación sonora.

6.8.6.5 PROPUESTA DE CRÉDITO: INSTALACIÓN DE JARDINES DE LLUVIA

El objetivo de este requerimiento voluntario es fomentar la instalación de jardines de lluvia en áreas exteriores e interiores del aeropuerto, contribuyendo a la captación, filtración y reutilización de aguas pluviales, así como a la mejora de la calidad del entorno ambiental del aeropuerto.

El indicador para medir el cumplimiento de este requerimiento es la instalación de jardines de lluvia con sistemas de filtración natural que promuevan la absorción de aguas pluviales y la reducción de la escorrentía.

La instalación de jardines de lluvia debe considerar requisitos para asegurar su funcionalidad y durabilidad.

- Su implementación se debe ubicar en áreas estratégicas, lugares que reciban una escorrentía significativa y debe evitar interferencias con operaciones críticas del aeropuerto.
- Debe tener un tamaño y capacidad adecuado para manejar los volúmenes de agua calculados, considerar pendientes acordes y sistemas de desbordamientos para evitar inundaciones.
- La selección de plantas deben ser nativas o adaptadas al clima local.
- Se debe considerar un mantenimiento periódico que contemple la limpieza de los sedimentos, el reemplazo de las plantas dañadas y la revisión en la capacidad de infiltración del terreno.

- Se debe integrar de buena forma con otras estructuras de drenaje existentes, áreas verdes u otras instalaciones relacionadas.

Este criterio se evalúa de manera binaria:

- Cumple: El aeropuerto cuenta con jardines de lluvia instalados en al menos el 10% de las áreas exteriores.
- No cumple: El aeropuerto no dispone de jardines de lluvia, o bien, no se cumple con la proporción mínima requerida de las áreas que los necesitan.

Para cumplir con este requerimiento los jardines deben demostrar mediante documentación, memorias de cálculo, y fichas técnicas que los jardines de lluvia se encuentran implementados según la guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias del MINVU.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES. De igual manera, por la naturaleza de este requerimiento una inclusión más natural dentro de la estructura CES sería el formar parte como un puntaje extra a los propuestos en la etapa de agua asociados a la recolección de agua.

6.8.6.6 PROPUESTA DE CRÉDITO: PARQUES INTERIORES

El objetivo de este requerimiento es mejorar la experiencia de los pasajeros y la calidad del aire interior mediante la instalación de parques interiores en las áreas de tránsito y espera del aeropuerto, creando espacios verdes que proporcionen un entorno natural y relajante.

El indicador para medir el cumplimiento de este requerimiento es la instalación de parques interiores con vegetación diversa que contribuya a la mejora de la calidad del aire y al bienestar de los pasajeros.

Los parques interiores deben equilibrar funcionalidad, sostenibilidad y estética, convirtiéndose en espacios que mejoren la experiencia de los usuarios, promuevan el bienestar y aporten beneficios ambientales dentro de un entorno crítico como es un aeropuerto. Por lo tanto, se deben considerar los siguientes requisitos para una correcta implementación.

- El espacio debe considerar una buena planificación, integrándose de forma armónica con el diseño del terminal.
- Deberá incluir zonas de descanso, fomentando el confort y bienestar de los usuarios y poseer un tamaño mínimo de 10m².
- Debe contar con una correcta selección de la vegetación, utilizando especies nativas o adaptadas al clima local que requieran de poco mantenimiento y sean resistentes a las condiciones interiores.
- Se debe asegurar que todas las personas puedan acceder y disfrutar del parque, con pasillos anchos y rampas para una correcta inclusión.

Este criterio se evalúa de manera binaria:

- Cumple: El aeropuerto ha instalado parques interiores en al menos un 20% dentro de las áreas consideradas como de flujo obligatorio, con vegetación autóctona y sistemas que mejoran la calidad del aire y la experiencia de los pasajeros.
- No cumple: El aeropuerto no dispone de parques interiores en las áreas de tránsito, o no cumplen con la proporción mínima requerida.

La verificación de este crédito se realiza mediante la revisión de planos, inspección y análisis documental para garantizar el cumplimiento de los requisitos. Se evalúa la correcta integración de los parques interiores en el diseño del aeropuerto, verificando su ubicación en al menos el 20% de las áreas de flujo obligatorio, que cuenten con un parque o jardín de un tamaño mínimo de 10 m² y la selección de vegetación nativa o adaptada al clima local.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES. De igual manera, por la naturaleza de este requerimiento una inclusión más natural dentro de la estructura CES sería el formar parte como un puntaje extra a los propuestos en la etapa de acústica asociados a los jardines de atenuación sonora.

6.8.6.7 PROPUESTA DE CRÉDITO: INSTALACIÓN DE ESTANQUES O PILETAS INTERIORES

El objetivo de este requerimiento voluntario es mejorar el microclima interior del Terminal de Pasajeros mediante la instalación de estanques o piletas interiores que promuevan la regulación térmica y la sensación de ambientes naturales.

El indicador para medir el cumplimiento de este requerimiento es la instalación de estanques o piletas en áreas interiores del aeropuerto, acompañados de sistemas de recirculación de agua que contribuyan a la reducción de la temperatura y la mejora del ambiente.

Para la instalación de estanques o piletas interiores, es fundamental cumplir con una serie de requisitos para garantizar su funcionalidad, sostenibilidad y seguridad. A continuación, se detallan los principales aspectos que deben considerarse:

- Un buen diseño y correcta ubicación en áreas de tránsito o zonas de descanso, donde mejore la experiencia del usuario y con un tamaño mínimo de 3m².
- Poseer una correcta integración visual, diseño debe armonizar con la arquitectura del aeropuerto.
- Diseño seguro incluyendo bordes antideslizantes para evitar caídas accidentales.
- Iluminación adecuada que realce la estética de estanque y facilite su visibilidad.
- Contar con accesibilidad técnica para una fácil mantención.

Este criterio se evalúa de manera binaria:

- Cumple: El aeropuerto cuenta con estanques o piletas interiores en al menos el 10% dentro de las áreas de flujo obligatorio, con sistemas de recirculación de agua.
- No cumple: El aeropuerto no dispone de estanques o piletas interiores, o no cumplen con la proporción mínima requerida.

La verificación de este requerimiento se realiza con verificación de planos, inspecciones y evidencias para asegurar la instalación de estanques o piletas interiores en al menos el 10% de las áreas de flujo obligatorio. Se debe evaluar que cumplan con un tamaño mínimo de 3 m², estén integrados con la arquitectura, cuenten con diseño seguro, iluminación adecuada y sistemas de recirculación de agua para mejorar el microclima.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES. De igual manera, por la naturaleza de este requerimiento una inclusión más natural dentro de la estructura CES sería el formar parte como un puntaje extra a los propuestos en la etapa de acústica asociados a los jardines de atenuación sonora.

6.8.6.8 PROPUESTA DE CRÉDITO: REDUCCIÓN DEL EFECTO ISLA DE CALOR

El objetivo de este requerimiento es fomentar la integración de infraestructura verde y azul en el diseño y operación de aeropuertos con el fin de mitigar el efecto isla de calor, promover el confort ambiental y contribuir a la sostenibilidad de los recintos aeroportuarios.

Para evaluar el cumplimiento de este requerimiento se debe realizar un estudio técnico detallado que identifique si el diseño del aeropuerto genera o no islas de calor en su entorno. En base al resultado del estudio, si este arroja que se presentaran islas de calor, se deben tomar las medidas correspondientes para que sean mitigadas.

Las medidas para la mitigación del efecto isla de calor deben ser soluciones basadas en la naturaleza, tales como lo son:

- Techos y muros verdes
- Jardines verticales
- Estanques de agua
- Sistema de sombreado vegetal
- Corredores verdes

La simulación de efecto de isla de calor debe ser calculado según metodologías validadas como la que es expuesta en THIS – Tool for Heat Island Simulation: A GIS extension model to calculate urban heat island intensity based on urban geometry, o software especializado como lo es ENVI-met.

Este criterio se evalúa de la siguiente manera:

- No cumple: No se realiza estudio técnico del efecto isla de calor, o bien, no se implementan medidas de mitigación en caso de identificarse su presencia.
- Aceptable: El efecto de las islas de calor es reducido en al menos un 25% según el diseño original.
- Bueno: El efecto de las islas de calor es reducido en al menos un 50% según el diseño original.
- Muy bueno: El efecto de las islas de calor es reducido en al menos un 75% según el diseño original, o el diseño no genera islas de calor.

La verificación de este requerimiento se realiza mediante la presentación de cálculo e informe técnico que verifica la disminución de islas de calor mediante una simulación de este efecto en el caso proyectado y en el caso original. En etapa de construcción se deberá verificar a través de inspección en terreno la implementación de las medidas planteadas en la etapa de diseño.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido a la especialización que poseen los métodos para calcular los efectos de isla de calor.

6.8.7 Propuestas técnicas para herramienta CES de la subetapa 9.3 – Variable Social

6.8.7.1 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: ESTUDIO SOCIAL DEL PROYECTO

El objetivo de este requerimiento es asegurar que los proyectos aeroportuarios contribuyan al desarrollo social, económico y sostenible ambientalmente de las comunidades locales promoviendo la accesibilidad universal y la equidad en el diseño y la operación de las instalaciones aeroportuarias mediante un fomento de las prácticas laborales justas y equitativas en todas las etapas del proyecto.

Este criterio se aplicará a todos los proyectos de diseño y construcción de terminales y refugios aeroportuarios, independientemente de su escala a lo largo del país.

Para que el proyecto cumpla con el requerimiento, el estudio de impacto en la dimensión social debe considerar profundizar incorporando los siguientes criterios y/o requerimientos sociales:

- El estudio debe garantizar la equidad e inclusión en todas las etapas del proyecto. Esto implica evaluar y promover la diversidad en la fuerza laboral, con especial atención a grupos históricamente marginados (género, etnia, discapacidad). Se evaluarán políticas de acción afirmativa, así como la accesibilidad universal en instalaciones y servicios. La información y señalética se adaptarán a las necesidades de todos los usuarios.

- El estudio evaluará la participación de las comunidades locales en todas las fases del proyecto. A través de mecanismos de consulta y diálogo, se identificarán y mitigarán los impactos ambientales negativos, como ruido y contaminación. Se establecerán programas de responsabilidad social que generen beneficios tangibles para las comunidades y fortalezcan el vínculo entre el aeropuerto y su entorno.
- El estudio evaluará el impacto del proyecto en la empleabilidad local, promoviendo la contratación de mano de obra local y la capacitación de los trabajadores. Se verificará el cumplimiento estricto de la legislación laboral y de estándares internacionales, garantizando condiciones de trabajo seguras, saludables y equitativas.
- El estudio analizará cómo el proyecto contribuye al desarrollo sostenible de la región, promoviendo el turismo responsable y el intercambio cultural. Se evaluarán iniciativas que fomenten la comercialización de productos locales y la preservación del patrimonio cultural. Además, se explorarán oportunidades para crear espacios públicos atractivos y funcionales, que fomenten la interacción entre los usuarios y la comunidad local, y promuevan prácticas sostenibles como la gestión de residuos y la economía circular.

A continuación, se presenta un cuadro sobre los aspectos que deben ser estudiados junto a sus exigencias reglamentación existente en legislación chilena y la política MOP en cada uno de los ítems indicados.

Tabla 6-52: Cuadro sobre normativa chilena y política MOP respecto de los aspectos propuestos para ser evaluados

Aspectos de Dimensión Social		Legislación Chilena	Política MOP
Participación Ciudadana	Participación de comunidades en mecanismos de consulta y diálogo para identificar mitigación de impactos.	Art. 11 y 12 Ley 20.417, DS 40	Guía de Participación Ciudadana MOP, Política ambiental y Territorial participativa del MOP y MTT
Equidad e Inclusión	Diversidad en la fuerza laboral, accesibilidad universal, acción afirmativa	Convenio 100, 111 y 169 OIT, Guía de enfoque de género en la edificación pública, DS N° 50 N° 20.422	Política Ministerial de Género y Diversidad MOP (2024-2030)
Impactos Socioeconómicos	Empleabilidad local, desarrollo económico, turismo	Art. 9 Ley 20.417	No especifica sobre estudios de impacto socioeconómico
Impactos Ambientales	Ruido, contaminación, calidad del aire y agua	Art. 9 Ley 20.417, DS 40	Guía de Participación Ciudadana MOP, Política ambiental y Territorial participativa del MOP y MTT, Política de sustentabilidad ambiental MOP
Impactos Culturales y Patrimoniales	Valoración del patrimonio cultural, turismo cultural	Ley 17.288	Política de sustentabilidad ambiental MOP
Bienestar y Salud	Calidad de vida, salud pública, seguridad	DS 594, Ley 16.744	Normas de diseño y construcción de espacios públicos, Bases de Prevención de riesgos para contratos de obras MOP con perspectiva de género

Fuente: Elaboración propia

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.8.7.2 PROPUESTA DE REQUERIMIENTO: PROMOVER LA EQUIDAD Y LA INCLUSIÓN SOCIAL

Se propone un requerimiento que busque promover la equidad y la inclusión social para las personas que ocupen transitoria o permanentemente es espacio aeroportuario, que garantice accesibilidad y uso adecuado y que a su vez promueva la igualdad de género en varios aspectos del proyecto. Lo anterior será cumplido mediante la implementación de espacios diseñados adecuadamente para tal efecto.

El requerimiento se cumple mediante la demostración de las siguientes actividades y ejecuciones:

- Garantizar que todas las áreas del aeropuerto sean accesibles para personas con movilidad reducida, por lo que debe existir al menos un acceso que incluya rampas, ascensores, señalética clara y concisa, sistemas de lectura en braille, audios y espacios adaptados para personas neurodivergentes.

- Los espacios deben diseñarse considerando la Guía de gestión inclusiva para servicios públicos del SENADIS, el Decreto 30:2023 del MINVU, la guía de enfoque de género en la edificación pública del MOP y en el caso de existir, guía de diseño arquitectónico infraestructura pública étnico del MOP de la zona de emplazamiento.
- La empresa encargada del diseño y/o construcción del proyecto debe contar con protocolos para prevenir y atender casos de violencia de género y discriminación.

Para validar el cumplimiento de este requerimiento se debe desarrollar un informe que indique todos los aspectos de inclusión considerados en el diseño del proyecto y demostrar que existe al menos un acceso principal diseñado con enfoque de género, para personas con movilidad reducida, persona con discapacidad visual, personas con discapacidad auditiva y personas neurodivergentes (No es necesario que todas las condiciones se encuentren dentro del mismo acceso principal, sino que puede existir más de uno). Al momento de que el proyecto se encuentre construido se debe demostrar que la infraestructura cuenta con al menos un acceso principal inclusivo, y acceso de manera inclusiva a todas las áreas públicas junto a tener enfoque de género en su diseño. De igual manera, las empresas principales encargadas de ejecutar el proyecto deben respaldar sus protocolos para prevenir y atender casos de violencia de género y discriminación mediante documentación.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.8.7.3 PROPUESTA DE CRÉDITO: PROMOVER EL BIENESTAR DE LAS COMUNIDADES ALEDAÑAS

El objetivo de este requerimiento es fomentar el bienestar socioeconómico y ambiental de las comunidades aledañas durante los distintos ciclos de vida del proyecto, promoviendo la participación, la inclusión en la cadena de valor y el desarrollo de relaciones armoniosas entre el proyecto y las comunidades.

El cumplimiento de este requerimiento se evaluará mediante la demostración de las siguientes acciones:

- Participación de empresas locales en la cadena de suministro, con un incremento documentado de contratos a proveedores locales.
- Organización de talleres y consultas públicas con evidencia de participación comunitaria.
- Proveer de servicios básicos como agua o electricidad de apoyo a la comunidad.
- Implementación de medidas de mitigación que reduzcan impactos negativos y maximicen beneficios positivos, documentadas con planes de acción.
- Desarrollo de programas de responsabilidad social corporativa que beneficien directamente a las comunidades afectadas.

Para cumplir con este requerimiento, se deben demostrar las siguientes actividades y resultados:

- Promoción de proveedores locales:
 - Diseñar un plan de incorporación de proveedores locales en la etapa de precertificación, documentando estrategias para fomentar su participación en la cadena de suministro durante la construcción del proyecto.
 - Incorporar proveedores locales en la ejecución de tareas durante la construcción de los proyectos (etapa de certificación).
 - Demostrar que al menos el 5% de los materiales utilizados durante la construcción del proyecto provienen desde empresas a una distancia no mayor a 100 kilómetros de la zona de emplazamiento (según medición de rutas vehiculares desde la zona de adquisición hasta la ubicación del proyecto, si no existen proveedores a esa distancia se deben considerar los más cercanos medidos de la misma forma).

- Demostrar que al menos el 5% de la contratación de mano de obra es de origen local durante la construcción (si no existen mano de obra en la comunidad se deben considerar la comunidad más cercana).
- Implementar programas de capacitación para mejorar las habilidades de la fuerza laboral local (en etapa de certificación se debe demostrar que durante la construcción se realizó al menos una capacitación a personas de la comunidad en temática de construcción aplicada).
- Relaciones comunitarias:
 - Implementar programas de responsabilidad social corporativa que aborden necesidades específicas identificadas en las comunidades aledañas. En etapa de certificación se debe demostrar que al menos se levantó una necesidad de una comunidad cercana. La comunidad debe encontrarse en un radio no mayor a 50 km en territorio nacional, en caso de no existir se debe considerar la más cercana.
 - Establecer formas e infraestructura que sean capaces de apoyar la cobertura de servicios básicos hacia la comunidad.

Las condiciones de evaluación para este crédito son:

- No cumple: El proyecto no cuenta con evidencia suficiente de las actividades descritas, no involucra a las comunidades de manera significativa o no implementa medidas de mitigación adecuadas.
- Bueno: El proyecto demuestra evidencia de haber promovido el bienestar de las comunidades aledañas mediante el cumplimiento de los requerimientos solicitados, incluyendo la participación de al menos un proveedor locales y programas de responsabilidad social corporativa para una comunidad.
- Muy bueno: El proyecto demuestra evidencia de haber promovido el bienestar de las comunidades aledañas mediante el cumplimiento de los requerimientos solicitados, incluyendo la participación de más de un proveedor locales y programas de responsabilidad social corporativa para más de una comunidad.

Condiciones de evaluación:

Para comprobar el requerimiento se deben desarrollar informes sobre la participación de proveedores locales y resultados obtenidos junto a una memoria técnica y resultados de los programas de responsabilidad social corporativa.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido a la dificultad que implica el desarrollo y revisión de los programas y relaciones sociales para asesores y evaluadores CES.

6.8.7.4 PROPUESTA DE CRÉDITO: INCLUSIÓN DE ESPACIOS DE USO COMUNITARIOS EN EL DISEÑO DE TERMINALES AEROPORTUARIOS

Se propone este requerimiento voluntario para fomentar la inclusión de espacios comunitarios en el diseño de terminales aeroportuarios de cualquier escala, con el fin de generar un impacto social positivo en la comunidad cercana a la terminal.

El objetivo de este crédito es motivar la integración de la infraestructura aeroportuaria con las actividades de la comunidad local, especialmente en pequeños aeródromos o aeropuertos, donde estas instalaciones pueden jugar un importante rol para el desarrollo local.

Estos espacios no están pensados para el comercio tradicional ni usos permanentes que suele encontrarse en los aeropuertos, sino para fomentar el uso comunitario y social, especialmente en localidades donde los aeródromos tienen una cercanía a la comunidad. La intención es que estas instalaciones contribuyan al desarrollo social, proporcionando lugares multifuncionales para actividades que beneficien a la comunidad cercana, como ferias de emprendedores, reuniones comunitarias, o la

habilitación de infraestructuras recreativas y deportivas. En algunos casos, estos espacios pueden estar ubicados dentro o fuera del aeropuerto, adaptándose a las necesidades específicas de cada localidad.

El alcance de este crédito se aplica a terminales aeroportuarios y aeródromos de cualquier escala, y se clasifica en niveles de cumplimiento según la cantidad de metros cuadrados (m²) destinados a espacios de uso comunitario.

Requerimientos

Para cumplir con este crédito, se deben destinar áreas específicas para uso comunitario en función de la escala del aeropuerto:

- Bueno: El proyecto debe destinar al menos 10 m² + 1,1 m² por persona (se parte de la base de 10 m² para circulación y exposición más tasa de ocupación de salas de reuniones según anexo 6.1 de *Metodología de proyectos de edificación pública* de Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MDSF)); del terminal para actividades comunitarias, distribuidos entre espacios interiores y exteriores.
- Muy bueno: El proyecto debe destinar al menos 10 m² + 1,7m² por persona para actividades comunitarias, distribuidos entre espacios interiores y exteriores.
- Excelente: El proyecto debe destinar al menos 10 m² + 2,21m² por persona actividades comunitarias, distribuidos entre espacios interiores y exteriores.

Para que los espacios sean considerados como de uso comunitario deben cumplir con los siguiente:

- Estar habilitados para un mínimo de 15 personas.
- Deben ser diseñados siguiendo lineamientos inclusivos, como la Guía de Gestión Inclusiva para Servicios Públicos del SENADIS, el Decreto 30:2023 del MINVU, la Guía de Enfoque de Género en la Edificación Pública del MOP, y, si corresponde, la Guía de Diseño Arquitectónico para Infraestructura Pública Étnica del MOP aplicable a la zona.
- Ser multifuncionales y adaptables para diversas actividades comunitarias, como ferias de emprendimiento local, reuniones de juntas vecinales, actividades recreativas, o eventos sociales.
- Contar, en espacios interiores, con servicios básicos como electricidad y mobiliario esencial (mesas y sillas), y cumplir con los estándares establecidos por el MDA y el MDSF.
- Incluir, en espacios exteriores, elementos de protección como techos, toldos o cubiertas para asegurar su uso bajo diversas condiciones climáticas.
- Garantizar medidas de seguridad apropiadas, como iluminación adecuada en áreas exteriores y señalización clara que facilite la orientación de los usuarios.
- Estar diseñados para promover la interacción entre la comunidad local y el aeropuerto, contribuyendo al fortalecimiento del valor social que este puede generar.
- Cumplir, en caso de incluir áreas exteriores como plazas, juegos infantiles, áreas verdes o de descanso, con los estándares establecidos en el Manual Técnico de Construcción y Requisitos Mínimos para Parques, Plazas, Áreas Verdes y Áreas Deportivas del MOP.
- Los espacios exteriores pueden ubicarse fuera del recinto aeroportuario, siempre que estén vinculados al proyecto.

Para verificar este crédito y que los aspectos solicitados fueron considerados dentro del proyecto, se deben revisar los planos arquitectónicos y las especificaciones técnicas correspondientes, asegurando que los espacios destinados al uso comunitario estén claramente señalados y cumplan con los requisitos establecidos en cuanto a capacidad, funcionalidad y normativa aplicable. En etapa de certificación se debe realizar una inspección en terreno para verificar que cuentan con los servicios básicos necesarios, como electricidad y mobiliario, además de medidas de seguridad como iluminación adecuada y señalización visible. En el caso de los espacios exteriores, se debe comprobar la presencia de elementos de protección, como techos o cubiertas, que permitan su uso bajo diversas condiciones climáticas, así como la adaptación a actividades multifuncionales.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que a pesar de que este crédito presente criterios de diseños importantes para alcanzar la sostenibilidad la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos puede resultar dificultosa debido a que este tipo de soluciones aumentan los presupuestos de los proyectos, y dependiendo de los puntos que entregue el crédito podría no ser considerado.

6.8.7.5 PROPUESTA DE CRÉDITO: MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

El objetivo de este requerimiento es fomentar y asegurar que la calidad del aire interior durante la operación de aeropuertos, aeródromos y refugios de pasajeros aeroportuarios sea adecuada, promoviendo un ambiente interior saludable mediante el monitoreo y control activo de variables clave como la humedad, temperatura y concentración de CO₂.

Para asegurar la salud, confort y bienestar de los ocupantes, las variables ambientales como la humedad, temperatura y concentración de CO₂ deben mantenerse dentro de rangos específicos. Por lo tanto, se deben considerar los siguientes valores:

- Temperatura¹: Se establece como valor límite de confort térmico de 20 °C para calefacción y 24 °C para refrigeración, a modo de garantizar condiciones adecuadas para ocupantes.
- Humedad²: Se establece un rango de un 45% ± 10%. Niveles superiores de humedad pueden favorecer la creación de moho, pudiendo afectar la salud de ocupantes y la integridad de la infraestructura, mientras que una humedad baja puede afectar de igual manera la salud de personas.
- Concentración de CO₂³: El valor máximo recomendado para interiores es de 400 ppm. Niveles superiores pueden afectar tanto la salud como el desempeño de los ocupantes.

Todos estos valores pueden variar según requerimiento del mandante en recintos específicos, lo que debe ser indicado por este mismo.

El requerimiento se cumple mediante la demostración de las siguientes actividades y ejecuciones:

- Cada recinto regularmente ocupado con una concentración mayor a 2 personas por metro cuadrado según hora 40 debe incorporar sensores que permitan monitorear de manera continua la humedad, temperatura y concentración de CO₂.
- Cada oficina o recinto de control del personal aeroportuario debe incorporar un sistema de alarma visual y/o sonora que advierta a los usuarios que alguna de las variables se encuentra fuera de los límites permitidos.
- Se debe implementar un sistema de control activo automático que minimice la necesidad de intervención humana mediante las siguientes acciones:
 - Temperatura: Sistemas de aire acondicionado programados para mantener la temperatura en un rango de 20-24 °C.
 - Humedad: Implementación de un humidificador/deshumidificador automático que active su operación cuando se esté fuera de los niveles de humedad establecidos (35 a 55%).
 - Concentración de CO₂: Instalar sistemas de ventilación mecánica o natural con activación automática cuando se detecten niveles de CO₂ superiores a 450 ppm.

Las condiciones de evaluación para este crédito son:

¹ Rangos de temperatura obtenido de los Términos de Referencia Estandarizados de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas.

² Rangos de humedad obtenido de los Términos de Referencia Estandarizados de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas.

³ La concentración de CO₂ en el aire exterior oscila entre 360ppm en áreas de aire limpio y 700 ppm en las ciudades.

- Muy bueno: Se implementa un sistema de monitoreo, alerta y control activo de las tres variables ambientales (humedad, temperatura y concentración de CO₂).
- Bueno: Se implementa un sistema de monitoreo, alerta y control activo de al menos dos variables ambientales (humedad, temperatura y concentración de CO₂).
- Aceptable: Se implementa un sistema de monitoreo, alerta y control activo de al menos una de las variables ambientales (humedad, temperatura y concentración de CO₂).
- No cumple: No se implementan mecanismos de medición y control de humedad, temperatura y concentración de CO₂.

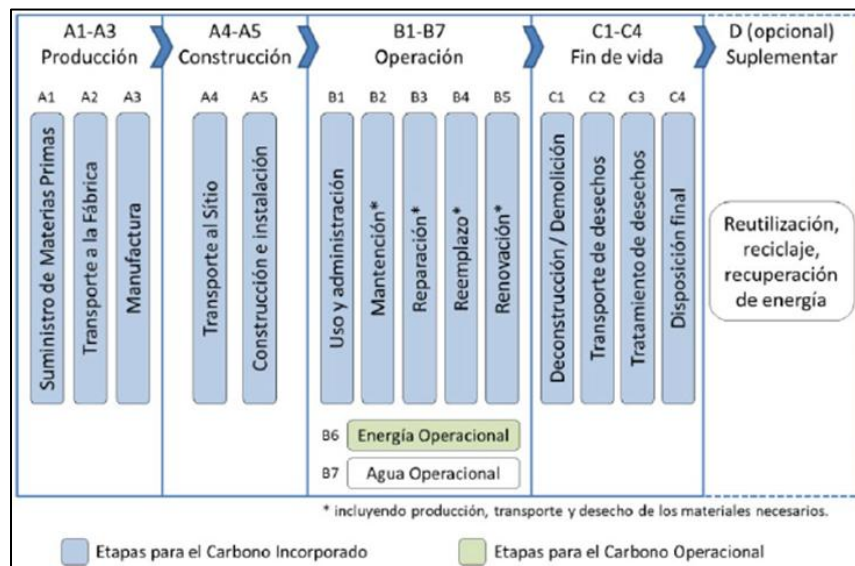
Para verificar este crédito y que los aspectos solicitados fueron considerados dentro del proyecto, se deben revisar los planos arquitectónicos y las especificaciones técnicas correspondientes, asegurando que los espacios cuentan con los sistemas solicitados. En etapa de certificación se debe realizar una inspección en terreno durante las etapas de construcción o adecuación de los espacios para verificar que cuentan con los servicios básicos necesarios, como electricidad y mobiliario, además de medidas de seguridad como iluminación adecuada y señalización visible. En el caso de los espacios exteriores, se debe comprobar la presencia de elementos de protección, como techos o cubiertas, que permitan su uso bajo diversas condiciones climáticas, así como la adaptación a actividades multifuncionales.

Nota: Desde la consultora a cargo de la ejecución de este estudio, en conjunto con los especialistas comprometidos en el desarrollo, se ha identificado que la implementación de este requerimiento a una futura primera versión certificación CES versión aeropuertos aporta al desarrollo de proyectos más sostenibles sin afectar al sistema de certificación CES.

6.9 ETAPA 10: METODOLOGÍA COSTO SOCIAL DE NUEVAS MEDIDAS DE SUSTENTABILIDAD

La metodología de evaluación desarrollada y utilizada por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia, considera únicamente la estimación del costo social asociado a la huella de carbono por la reducción del consumo de energía durante la operación de un edificio (calefacción, enfriamiento e iluminación, principalmente), correspondiente a la etapa B6 del ciclo de vida del proyecto, tal como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 6-40: Esquema de Evaluación del Ciclo de Vida de Edificios



Fuente: UNE-EN 15978:2012

Los Términos de Referencia disponen que el presente estudio amplíe la metodología de evaluación social de las emisiones de carbono desarrollada por el MDSyF desde la etapa B6 (actualmente incorporada), al resto de las etapas A1 a A5, C1 a C4 y D que puedan incorporarse en función de los estudios desarrollados en las Etapas 7 y 8 del presente estudio.

Por lo tanto, el objetivo de la presente etapa consiste en proponer una metodología de evaluación de modo de incrementar las etapas del ciclo de vida cuantificadas y evaluadas en la reducción de emisiones, con el objetivo de justificar económicamente la incorporación de medidas de eficiencia energética y economía circular en la construcción de infraestructura aeroportuaria (vertical y horizontal) y al final de su vida útil.

6.9.1 Resultados Aplicación Etapa 7: Estudio Huella de carbono

En esta etapa de la consultoría, el caso en estudio correspondió a la “Ampliación y Mejoramiento del Aeropuerto Internacional Andrés Sabella” de Antofagasta, ubicado a 24 km al norte de la ciudad de Antofagasta, Chile. La ampliación de dicho aeropuerto contempla obras en infraestructura vertical y en infraestructura horizontal.

El objetivo de esta aplicación consiste en determinar *“si es posible exigir la aplicación de la metodología completa de medición de huella de carbono de diseño y construcción en proyectos de infraestructura aeroportuaria y poder incorporar su aplicación como un requerimiento dentro del CES de Aeropuertos.*

En términos prácticos y de interés para el objetivo de la presente etapa, se desarrollan métodos de cálculo que permitan medir la huella de carbono asociada a la etapa de diseño y construcción, es decir, de *“inversión”*, lo que en términos de evaluación de proyectos corresponde a la *“cuantificación”* de la externalidad negativa por contaminación generada en dicho proceso de inversión.

6.9.2 Resultados Etapa 8: Economía Circular

Esta etapa tuvo como objetivo aplicar los conceptos de economía circular en la infraestructura aeroportuaria vertical y horizontal, específicamente en las etapas de diseño, construcción y operación.

La Economía Circular (EC) busca disminuir las emisiones globales de CO₂ asociadas a los materiales de construcción, reduciendo la demanda de acero, aluminio, hormigón, asfalto, ladrillo, vidrio, poliestireno, madera, áridos y plástico, entre otros, manteniendo los recursos y los materiales de construcción en la economía y evitando que se conviertan en residuos. Este enfoque busca reducir al mínimo los residuos y aprovechar al máximo los recursos, pasando de una economía lineal a una circular a través de diferentes estrategias que permitan prevenir, reducir, reutilizar y reciclar los materiales de construcción para alargar la vida útil de la construcción y sus componentes en los aeropuertos nacionales.

6.9.3 Metodología de Evaluación Costos Sociales

A partir de lo anterior, se desarrolla la propuesta metodológica que busca incorporar otras etapas del ciclo de vida a la evaluación social de proyectos de infraestructura aeroportuaria, cuantificando y valorando la reducción de emisiones de CO₂eq asociadas a las etapas de diseño y construcción, incluyendo la utilización de materiales reciclables y reutilizables. Actualmente, sólo se encuentra incorporada la etapa de operación (B6).

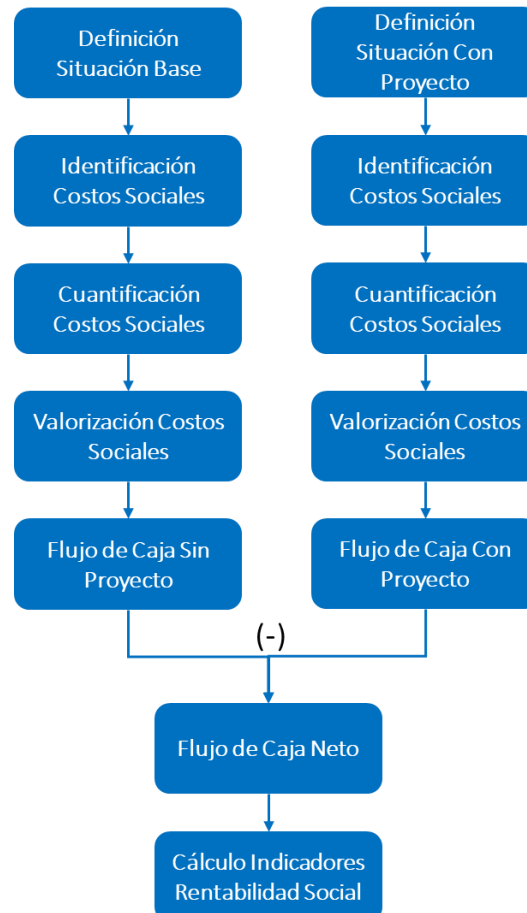
Como toda metodología de evaluación de proyectos, sigue los siguientes pasos:

- Paso 1: Definición de la situación base o situación sin proyecto.
- Paso 2: Definición de la(s) situación(es) con proyecto.
- Paso 3: Identificación de costos sociales
- Paso 4: Cuantificación de costos sociales.
- Paso 5: Valoración de costos sociales.
- Paso 6: Flujos de costos sociales relevantes.
- Paso 7: Cálculo de indicadores de rentabilidad.

La propuesta metodológica desarrollada busca expandir la evaluación social de proyectos de infraestructura aeroportuaria incorporando etapas adicionales del ciclo de vida, como el diseño y la construcción, con el objetivo de cuantificar y valorar la

reducción de emisiones de CO₂eq. Esto incluye el uso de materiales reciclables y reutilizables, lo que marca una diferencia respecto al enfoque actual, limitado a la etapa de operación (B6). En la siguiente figura se muestra un esquema que resume la metodología de análisis propuesta.

Figura 6-41: Esquema Metodología de Evaluación Social



Fuente: Elaboración Propia

El análisis del ciclo de vida de la infraestructura aeroportuaria abarca diversas etapas con impactos ambientales y costos sociales diferenciados. La etapa de producto (A1-A3) considera la huella ambiental de los materiales de construcción, desde la extracción de materias primas hasta su distribución, y se calcula multiplicando la cantidad de material por su índice de calentamiento global. La etapa de construcción (A4) evalúa las emisiones generadas por el transporte de materiales hacia la obra, tomando en cuenta las distancias recorridas y el tipo de vehículo utilizado. En la etapa A5, el impacto se asocia al consumo energético durante la construcción, incluyendo electricidad y combustibles fósiles utilizados en maquinaria y equipos.

Durante la fase de uso, la etapa B1-B5 (carbono incorporado) no se considera relevante, ya que los impactos ambientales asociados a reparaciones y remodelaciones son mínimos en comparación con el ciclo de vida total. Sin embargo, la etapa B6 (carbono operacional) representa una de las principales fuentes de emisiones en la operación aeroportuaria. En este caso, se analizan consumos energéticos de climatización, iluminación y equipos electromecánicos, calculando su impacto mediante el índice de calentamiento global de la red eléctrica. Para infraestructura existente, se recomienda aplicar la metodología ECSE desarrollada por el MDSYF.

La etapa de fin de vida (C1-C4) no se incorpora en la evaluación social, dado que la infraestructura aeroportuaria generalmente supera el horizonte de evaluación de 20 años, lo que hace que su impacto en los indicadores económicos sea

marginal. Además, estimar con certeza las condiciones futuras de demolición y disposición de residuos resulta poco confiable. En cuanto a la etapa D (reutilización y reciclaje de materiales), su cálculo es parcial, ya que, si bien es posible estimar el efecto neto de la reutilización entre situaciones con y sin proyecto, no se pueden cuantificar con precisión los beneficios ambientales derivados de la reducción de residuos en rellenos sanitarios. Para incluir esta etapa en la evaluación social, se sugiere cuantificar las emisiones de A1 a A5 con y sin proyecto, permitiendo una mejor aproximación a los efectos de la reutilización de materiales constructivos.

La valoración de los costos sociales de cada escenario se realiza utilizando los precios sociales establecidos anualmente por el MDSYF. Entre los factores clave se encuentran el precio social de la mano de obra, que ajusta los valores de mercado según el nivel de calificación de los trabajadores, el precio social de la divisa, que corrige los valores de bienes transables como maquinaria y materiales, y el precio social del CO₂eq, que representa el costo de evitar la emisión de una tonelada de carbono. También se considera la tasa social de descuento, que refleja el costo de oportunidad del capital invertido en el proyecto.

Para evaluar la viabilidad de los proyectos aeroportuarios, la autoridad debe elegir el método de diseño, construcción y operación que minimice los costos sociales. Aquí surge el dilema entre métodos tradicionales, que buscan minimizar costos sin restricciones de emisión, y métodos con restricciones ambientales, que buscan reducir la contaminación a lo largo del ciclo de vida. Dado que los impactos ambientales son externalidades negativas no asumidas por los inversionistas, es necesario incorporarlas en la evaluación para garantizar que la contaminación generada sea parte de la estructura de costos.

Los indicadores de rentabilidad social utilizados en la evaluación incluyen el Valor Actual de Costos Sociales (VACS), que compara el valor presente de los costos sociales en las situaciones con y sin proyecto. Si el VACS del proyecto con restricciones de emisión es menor, se considera socialmente conveniente; si es mayor, se opta por el método tradicional. En caso de igualdad, ambas opciones serían indiferentes desde el punto de vista social. El segundo indicador, el Valor Actual de Beneficios Netos Sociales (VANS), mide los beneficios netos de reducir la contaminación. Si es mayor a cero, el proyecto es viable; si es menor, no lo es. En caso de múltiples alternativas, se elige aquella con el mayor VANS positivo.

6.9.4 Recomendaciones y Sugerencias

El análisis del caso práctico realizado en la Etapa 7.1 de la consultoría determinó que la fase del ciclo de vida con mayor impacto ambiental en términos de emisiones de CO₂ equivalente es la Etapa B6 (Uso – Carbono Operacional). Esto es consistente con los datos del Informe Piloto Aplicación Caso Práctico Aeroportuario para Diseño y Construcción, que indican que el 62% de la huella de carbono en el ciclo de vida de un aeropuerto proviene del consumo energético durante la operación, mientras que los materiales de construcción representan aproximadamente el 31%. Dado que esta fase ya se encuentra incorporada en la evaluación social de proyectos aeroportuarios, se sugiere extender el análisis a otras etapas con alta contribución a las emisiones.

Se recomienda incluir en la evaluación social las etapas A1 a A3 y A5, ya que después de la Etapa B6, son las que generan mayores emisiones de CO₂ equivalente. Si bien en el caso del Aeropuerto Internacional Andrés Sabella, la Etapa A5 solo representa el 4.4% de las emisiones, al incorporar los casos del Aeródromo de Peldehue y el Aeródromo María Dolores de Los Ángeles, se evidencia que la Etapa A4 tiene un impacto menor, mientras que A5 alcanza un promedio del 27.3% cuando se consideran las etapas A1 a A5. Para obtener una muestra más representativa, se sugiere ampliar el estudio a aeropuertos y aeródromos de la Red Primaria, Secundaria y de Pequeños Aeródromos, distribuidos en distintas zonas del país.

No se recomienda la inclusión de la Etapa D en la evaluación social, ya que no es posible cuantificar completamente sus efectos. Si bien se puede estimar el impacto neto de la reutilización de materiales, no se puede determinar con precisión la reducción de emisiones derivadas de la menor disposición de residuos en rellenos sanitarios. Para evaluar su relevancia, se propone medir la huella de carbono de esta etapa en varios casos prácticos.

Se descarta la inclusión de las etapas B1 a B5, dado que la literatura internacional indica que sus emisiones son poco significativas dentro del ciclo de vida. Sin embargo, se recomienda realizar mediciones en distintos casos para cuantificar su impacto relativo. En cuanto a la Etapa de Fin de Vida (C1 a C4), no se considera su incorporación en la evaluación social, ya que la vida útil de la infraestructura aeroportuaria excede el horizonte de evaluación de 20 años, lo que hace que su impacto

en los indicadores económicos sea marginal. Además, incluir estimaciones basadas en tecnología actual para una etapa futura con alta incertidumbre podría resultar poco confiable.

En línea con la norma ISO 14025, se recomienda incluir en la evaluación social los efectos ambientales que puedan traducirse en CO₂ equivalente, permitiendo su valoración económica mediante el precio social del CO₂eq publicado por el MDSYF. Se sugiere considerar factores como acidificación (SO₂, NO_x) y ozono troposférico (NO_x, CO, CH₄). Otros impactos ambientales, como el agotamiento de recursos, el consumo de agua y la toxicidad ambiental, no se recomiendan, ya que los dos primeros ya están incorporados en la evaluación a precios de mercado, y para el tercero no existen valores sociales establecidos que permitan monetizar sus efectos.

Incluir la huella de carbono en la evaluación social de proyectos aeroportuarios incrementará los costos de los estudios preinversionales, principalmente en la fase de ingeniería, ya que se requerirá el desarrollo de dos anteproyectos (uno para la situación base y otro con el proyecto). Además, la principal dificultad metodológica radica en la falta de fichas EPD locales, lo que dificulta la obtención de índices de potencial de calentamiento global (GWP) específicos para Chile. Esto responde a diferencias en la matriz energética, disponibilidad y uso de materias primas recicladas, transporte y logística, entre otros factores.

Aunque las diferencias entre fichas EPD locales e internacionales son mínimas en cuanto a metodología y valores GWP, en ausencia de datos locales se sugiere utilizar fichas internacionales como referencia. Sin embargo, es recomendable desarrollar una base de datos nacional que permita actualizar los valores y mejorar la precisión en futuros proyectos. Como alternativa más eficiente, se sugiere establecer una norma de emisiones de CO₂eq para el diseño, construcción y operación de aeropuertos, de manera que se garantice el cumplimiento de un umbral máximo sin necesidad de evaluaciones detalladas en cada proyecto.

7 RESUMEN PROPUESTAS REQUERIMIENTOS Y CRÉDITOS CES AEROPUERTOS

Tabla 7-1: Resumen propuestas de requisitos y créditos

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Huella de carbono	Declaración ambiental de productos y materiales del edificio	Promover la entrega de Declaraciones Ambientales de Producto o etiquetas ambientales tipo III para materiales y productos del edificio, basadas en análisis de ciclo de vida conforme a normas ISO.	Requerimiento (obligatorio)	Aplica a todos los materiales permanentemente instalados en el edificio terminal y refugios de pasajeros, evaluando la etapa de fabricación de los materiales. El cumplimiento puede realizarse entregando DAPs o fichas EPD para 10 productos distribuidos en categorías constructivas específicas o presentando DAPs equivalentes al 1% del presupuesto de materiales.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando entregue la documentación adecuada, garantizando coherencia entre presupuestos, facturas y materiales instalados. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Huella de carbono	Integración de DAP y materiales del edificio	Incentivar la integración progresiva de productos de construcción que cuenten con Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) o etiquetas ambientales tipo III, basadas en análisis de ciclo de vida, promoviendo la cultura de transparencia ambiental en la cadena de suministro y fortaleciendo el levantamiento de impactos ambientales desde el diseño del edificio.	Crédito (voluntario)	Aplica a materiales permanentemente instalados en el edificio terminal y refugios de pasajeros, considerando la etapa de fabricación de los materiales. El cumplimiento puede lograrse entregando DAPs para un número determinado de productos en distintas categorías constructivas o asegurando que un porcentaje del presupuesto de materiales esté cubierto por productos con información ambiental verificada.	Para la opción por cantidad de materiales, el nivel "Sobresaliente" se alcanza entregando DAPs de al menos 20 productos, el nivel "Muy bueno" entre 15 y 20 productos. "Bueno" entre 11 y 15 productos. Para la opción por presupuesto, el nivel "Sobresaliente" se alcanza con más del 10% del presupuesto cubierto. "Muy bueno" entre 5% y 10%, y el nivel. "Bueno" entre 1% y 5%. En caso de no alcanzar los mínimos exigidos, no se otorgará nivel de cumplimiento.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Huella de carbono	Huella de carbono contenido del edificio	Promover la cuantificación de la huella de carbono incorporada en edificios mediante el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero expresadas en CO ₂ equivalente, considerando las etapas de suministro de materias primas, manufactura de materiales, transporte a obra y procesos de instalación, conforme a la normativa europea EN 15978:2011. El objetivo es incentivar la medición y la adopción de estrategias que reduzcan las emisiones de carbono asociado a la construcción.	Requerimiento (obligatorio)	Aplica a la etapa de diseño y construcción de edificios terminales y/o refugios aeroportuarios, incorporando las emisiones correspondientes a las categorías A1 a A5 del ciclo de vida de los materiales. El cálculo debe basarse en la información ambiental disponible en las DAPs reportadas y en las cantidades obtenidas del presupuesto de construcción del edificio.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando entregue la documentación adecuada, garantizando coherencia entre presupuestos, facturas y materiales instalados. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Huella de carbono	Huella de carbono en operación	Incentivar la medición y reducción de la huella de carbono asociada al consumo de energía durante la etapa de operación de los edificios, considerando emisiones de CO ₂ equivalente derivadas de electricidad y combustibles. El objetivo es fomentar la disminución de las emisiones operacionales.	Crédito (voluntario)	Aplica a la operación de edificios terminales y refugios aeroportuarios. La evaluación considera la estimación del consumo de energía final y primaria, la medición de las emisiones de CO ₂ equivalente, y el porcentaje de reducción logrado respecto a un edificio de referencia.	El nivel "Sobresaliente" se alcanza con una reducción de emisiones de carbono operacional igual o superior al 40%. El nivel "Muy bueno" con una reducción entre 20% y 40%. El nivel "Bueno" con una reducción entre 1% y 20%. En caso de no alcanzar al menos una reducción del 1%, no se asignará nivel de cumplimiento.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Economía Circular	Plan de gestión de residuos de construcción y demolición	Asegurar la gestión sustentable de residuos en obra, a través de la reducción, valorización y adecuada disposición final de los RCD, considerando el principio de jerarquía en el manejo de residuos.	Requerimiento (obligatorio)	Aplica a la etapa de construcción del edificio. Aplica a todo tipo proyecto. La Evaluación se realiza en base a la existencia y ejecución del Plan de gestión RCD	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando entregue la documentación adecuada, garantizando coherencia entre presupuestos, facturas y materiales instalados. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Economía Circular	Valorización de residuos en etapa de construcción	Incentivar la consideración anticipada de los materiales en la infraestructura, promoviendo estrategias de valorización desde el diseño y planificación de la obra. Se busca fomentar el aprovechamiento de residuos a través de procesos conocidos en Chile, como la reutilización de materiales, el reciclaje de áridos y metales, y otras formas de valorización que permitan reducir la disposición en vertederos. Este enfoque impulsa una gestión sustentable de los residuos, alineada con las capacidades disponibles en el país y el principio de economía circular.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapa de construcción del edificio. Aplica a residuos generados en la obra que han sido valorizados mediante procesos como la reutilización, el reciclaje o su uso como insumo en otras actividades productivas.	Muy Bueno: valorización de residuos > 70%. Bueno: 30% < valorización de residuos ≤ 70%. Aceptable: 15% ≤ valorización de residuos ≤ 30%.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Economía Circular	Uso de materiales con atributos circulares	Fomentar la selección de materiales con atributos circulares en infraestructuras aeroportuarias, asegurando su trazabilidad y promoviendo la reducción de impactos ambientales desde el diseño, mediante la incorporación de materiales no vírgenes y/o de origen renovable, en línea con los principios de economía circular.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapa de diseño y construcción del edificio. Aplica a materiales no vírgenes y/o de origen renovable utilizados en relación con el total de materiales empleados en la obra.	<p>Bueno: 15% \leq materiales con atributos circulares \leq 30%.</p> <p>Muy Bueno: materiales con atributos circulares $>$ 30%.</p>
Economía Circular	Diseño para la adaptabilidad	Asegurar que el edificio aeroportuario esté preparado para afrontar cambios en su uso o configuración a lo largo de su ciclo de vida, mediante soluciones de diseño que maximicen su flexibilidad y adaptabilidad, minimicen residuos y reduzcan los costos asociados a renovaciones, ampliaciones o ajustes funcionales, en línea con los principios de la construcción circular.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapa de diseño, construcción y operación del edificio. Aplica a toda construcción con recintos que integren criterios de adaptabilidad.	<p>Aceptable: 20% \leq superficie construida con criterio de adaptabilidad \leq 35%.</p> <p>Bueno: 35% $<$ superficie construida con criterio de adaptabilidad \leq 50%.</p> <p>Muy Bueno: superficie construida con criterio de adaptabilidad $>$ 50%.</p>

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Economía Circular	Diseño para la modularidad	Fomentar que las infraestructuras aeroportuarias incorporen sistemas constructivos modulares que permitan una mayor eficiencia en obra, reducción de pérdidas, posibilidad de ampliaciones o ajustes futuros, y recuperación efectiva de materiales al término de su vida útil, reduciendo la generación de residuos y la demanda de recursos vírgenes.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a toda construcción con recintos que integren criterios de modularidad.	<p>Bueno: 50% ≤ superficie construida con criterio de modularidad ≤ 70%.</p> <p>Muy Bueno: superficie construida con criterio de modularidad > 70%.</p>
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Estudio de factibilidad de estaciones de carga para vehículos impulsados por electricidad y/o hidrógeno	Evaluar la viabilidad de instalar estaciones de carga en los estacionamientos de los terminales aeropuertos. Este análisis debe priorizar el uso de fuentes de energía renovable (como solar, eólica, geotérmica, hidráulica, mareomotriz, biomasa, entre otras), y contemplar la conexión a la red eléctrica como respaldo.	Requerimiento (obligatorio)	Etapa de diseño del edificio. Aplica a todo proyecto. Su verificación está dispuesta a la presentación de memoria del estudio de factibilidad técnica, económica y operativa.	<p>El nivel de cumplimiento del requisito es binario.</p> <p>Se considerará que un proyecto cumple cuando entregue la documentación adecuada, garantizando coherencia entre presupuestos, facturas y materiales instalados. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.</p>
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Promoción de uso de vehículos sostenibles en aeropuertos	Fomentar la transición hacia la movilidad sostenible en aeropuertos, reduciendo las emisiones de gases contaminantes mediante la implementación de infraestructuras específicas para la recarga de vehículos eléctricos y de hidrógeno.	Crédito (voluntario)	Etapa de diseño, construcción y operación del edificio. Aplica a estacionamiento del lado landside y que se cuente con al menos un 40% de la energía utilizada en estaciones de carga proveniente de sistemas renovables.	<p>Bueno: 5% ≤ espacio de estacionamiento para vehículos sostenibles < 10%</p> <p>Muy Bueno: espacio de estacionamiento para vehículos sostenibles > 10%</p>

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Infraestructura de carga, reabastecimiento y electrolineras en terminales y refugios aeroportuarios	Contemplar la instalación de infraestructura destinada a la carga y reabastecimiento de hidrógeno, así como electrolineras para vehículos eléctricos.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a proyectos con estaciones de carga y reabastecimiento de hidrógeno y electricidad.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando la infraestructura de carga debe ser capaz de recibir al menos el 5% del combustible utilizado por dos tipos de operación (terrestre, transporte interno y/o aeronaves). En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Espacios para investigación y desarrollo de aplicaciones de hidrógeno verde (H2V) en terminales aeroportuarios	Incentivar la creación de espacios dedicados a la investigación y desarrollo de aplicaciones relacionadas con el hidrógeno verde (H2V).	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a proyectos que integren laboratorios de investigación y desarrollo.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando se realiza estudio de factibilidad técnica de operación del laboratorio. El laboratorio debe contar con una superficie útil mínima de 30 m ² . En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Espacios para almacenamiento y operación de unidades de potencia terrestre de hidrógeno (h2-GPU) en terminales aeroportuarias	Incentivar la creación de espacios destinados al almacenamiento, operación y mantenimiento de unidades de potencia terrestre basadas en hidrogeno en terminales aeroportuarias.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a espacios de almacenamiento de hidrógeno.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando se realiza estudio de factibilidad técnica de operación de H2-GPU. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Diseño escalable de infraestructura de carga eléctrica	Planificar estaciones de carga rápida y convencional en ubicaciones estratégicas dentro del recinto aeroportuario, priorizando la integración de fuentes de energía renovable como paneles solares y sistemas eólicos para su alimentación.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a proyectos que integren estaciones de carga eléctrica.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando se realiza informe técnico que señala el diseño de la infraestructura de las estaciones de carga eléctrica. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Optimización de rutas y espacios operativos para terminales aeroportuarias y refugios de pasajeros	Diseñar y planificar caminos, espacios y zonas dedicadas a vehículos eléctricos dentro de los terminales y refugios, para garantizar la eficiencia y seguridad en la circulación, así como prever espacios adecuados para las actividades de carga y mantenimiento.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a todo proyecto que cuente con vehículos eléctricos en sus operaciones.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando el diseño incluye al menos uno de los siguientes elementos: 1)Diseño de caminos seguros y eficientes. 2)Accesos exclusivos para carga y estacionamiento. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Electromovilidad e Hidrógeno verde	Diseño resiliente de sistemas energéticos para terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros	Diseñar y construir sistemas energéticos resilientes, eficientes y flexibles para soportar operaciones críticas durante emergencias, garantizar la eficiencia energética en operaciones cotidianas y facilitar la integración de tecnologías emergentes y energías renovables.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a todo proyecto.	<p>El nivel de cumplimiento del requisito es binario.</p> <p>Se considerará que un proyecto cumple cuando el diseño incluye al menos dos de los siguientes elementos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Preparación de conexiones eléctricas estratégicas. 2) Sistemas de monitoreo en tiempo real. 3) Diseño modular y escalable. <p>En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.</p>
Net Zero	Net Zero - Energía	Reconocer a los terminales aeroportuarios que logren un balance energético neto cero, es decir, que generen localmente, mediante fuentes renovables, al menos la misma cantidad de energía que consumen anualmente en climatización, iluminación y artefactos eléctricos. El objetivo es fomentar el diseño y operación de terminales aeroportuarios energéticamente eficientes, mediante medidas de eficiencia activa, pasiva y generación renovable in situ.	Crédito (voluntario)	Aplica a terminales aeroportuarios y aeródromos de cualquier escala. La evaluación considera tanto la fase de diseño (precertificación) mediante simulaciones energéticas validadas, como la fase de operación (certificación) mediante revisión de implementación efectiva de los sistemas renovables. Los cálculos energéticos deben basarse en condiciones climáticas locales, ocupaciones proyectadas reales y normas de modelación reconocidas.	<p>El nivel de cumplimiento del crédito es binario.</p> <p>Se considerará que un proyecto cumple cuando haya alcanzado un balance energético neto igual a cero. En caso de que el terminal no logre compensar completamente su consumo energético, se considerará que no cumple con el crédito.</p>

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Net Zero	Net Zero -Residuos en construcción	Reconoce a los terminales aeroportuarios que logren un balance neto cero de residuos sólidos no peligrosos durante la fase de construcción. El objetivo es fomentar prácticas de construcción sustentables, promoviendo un enfoque de economía circular que reduzca el impacto ambiental del proceso constructivo.	Crédito (voluntario)	Aplica a terminales aeroportuarios de cualquier escala y su evaluación se centra en el desempeño ambiental del proyecto exclusivamente durante la fase de construcción. La evaluación considera tanto el diseño de las estrategias de reducción como su ejecución efectiva, validada mediante registros trazables de disposición final.	El nivel de cumplimiento del crédito es binario. Un proyecto se considerará que cumple si logra desviar un 90% o más del total de los residuos sólidos no peligrosos generados durante la construcción hacia procesos de reciclaje, reutilización o recuperación, sin destinar residuos a vertederos o incineradores. Si no se alcanza este porcentaje de desvío, el crédito no se considerará cumplido.
Net Zero	Net Zero - Agua-	Reconoce a los terminales aeroportuarios diseñados para alcanzar un balance neto cero de agua potable. El objetivo es fomentar diseños que disminuyan la dependencia del agua potable convencional y optimicen el aprovechamiento de recursos hídricos alternativos en la operación del terminal.	Crédito (voluntario)	Aplica a la fase de diseño de terminales aeroportuarios de cualquier escala. La validación del cumplimiento se basa en cálculos de balance hídrico, planos, especificaciones técnicas y memoria de cálculo que demuestren que el diseño es capaz de alcanzar el balance neto cero de agua potable.	El nivel de cumplimiento del crédito es binario. Un proyecto se considerará que cumple si demuestra, mediante los cálculos de balance hídrico y el diseño de los sistemas, que es capaz de alcanzar un balance neto cero de agua potable. Si no se alcanza un balance cero de agua, el crédito no se considerará cumplido.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Net Zero	Net Zero -Carbono en construcción y operación	Reconocer a los terminales y refugios aeroportuarios que logren un balance neto cero de carbono considerando tanto la construcción como la operación del edificio, excluyendo las operaciones de aeronaves. El objetivo es incentivar la reducción de emisiones de carbono mediante estrategias de diseño eficiente, uso de materiales de bajo impacto, energías renovables y compensaciones verificadas.	Crédito (voluntario)	Aplica exclusivamente al edificio terminal y/o refugios de pasajeros de cualquier escala. Para validar el cumplimiento, los proyectos deben presentar análisis de ciclo de vida, cálculos de huella de carbono, certificados de compensación, documentación energética y registros de fuentes de energía renovable utilizadas.	Se considerará que un terminal alcanza el nivel Muy Bueno si logra Net Zero carbono tanto en las etapas de construcción como de operación. Se considerará Bueno si alcanza Net Zero carbono en solo una de las dos etapas (construcción u operación). Se considerará que No cumple si no alcanza el balance neto cero en ninguna de las etapas evaluadas.
Cambio Climático	Análisis de riesgos climáticos futuros	Identificar amenazas climáticas futuras en terminales o refugios aeroportuarios para determinar los posibles efectos adversos del cambio climático sobre la infraestructura a construirse.	Requerimiento (obligatorio)	Aplica a etapas de diseño del edificio. Aplica a todo proyecto. La evaluación se realiza mediante un estudio de factibilidad que evalúa las amenazas climáticas sobre la infraestructura.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando se realiza informe técnico que señala los riesgos climáticos futuros según la metodología propuesta. En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Cambio Climático	Diseño de instalaciones resilientes al cambio climático	Fomentar el diseño de sistemas críticos frente a escenarios climáticos futuros con el propósito de fomentar el diseño instalaciones y sistemas críticos, como los de climatización, ventilación y drenaje de aguas lluvias, respondan adecuadamente a los escenarios climáticos futuros.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica al diseño instalaciones y sistemas críticos, como los de climatización, ventilación y drenaje de aguas lluvias.	<p>Muy Bueno: En diseño e instalación considera al menos tres de los sistemas activos los riesgos climáticos futuros.</p> <p>Bueno: En diseño e instalación considera al menos dos de los sistemas activos los riesgos climáticos futuros.</p> <p>Aceptable: En diseño e instalación considera uno de los sistemas activos los riesgos climáticos futuros.</p>
Cambio Climático	Diseño de infraestructura resiliente al cambio climático	Promover el diseño de infraestructura resiliente considerando riesgos climáticos futuros fomentado que la infraestructura aeroportuaria esté diseñada para responder a las condiciones climáticas futuras, considerando escenarios que proyectan aumentos en la temperatura y cambios en la frecuencia e intensidad de precipitaciones.	Crédito (voluntario)	<p>Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio.</p> <p>Aplica a estrategias de diseño de sistemas pasivos, infraestructura verde y azul e infraestructura modular.</p>	<p>Muy Bueno: Se consideran al menos cinco estrategias en el diseño y/o ejecución de la infraestructura que permitan responder ante los riesgos climáticos futuros.</p> <p>Bueno: Se consideran al menos tres estrategias en el diseño y/o ejecución de la infraestructura que permitan responder ante los riesgos climáticos futuros.</p>

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Infraestructura verde y azul	Estudio de factibilidad de cubiertas y muros verdes	Evaluar la implementación de techos y muros verdes en terminales de aeropuertos con el fin de mejorar la sostenibilidad y eficiencia energética del aeropuerto, a su vez que estas infraestructuras verdes sean compatibles con la operación aeroportuaria.	Requerimiento (obligatorio)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Aplica a todo proyecto que incluya una terminal de pasajeros. El proyecto debe presentar una memoria de cálculo que incluya los requisitos solicitados en materia de fauna, especies, riesgos, riego y mitigación.	El nivel de cumplimiento del requisito es binario. Se considerará que un proyecto cumple cuando se realiza una memoria de cálculo que evalúa la viabilidad de incorporar cubierta y muros verdes en terminales de aeropuertos, En caso contrario, se considerará que el proyecto no cumple con el requisito.
Infraestructura verde y azul	Gestión eficiente de aguas pluviales	Promover la captación, almacenamiento y reutilización de aguas pluviales en terminales aeroportuarios, fomentado la reducción del consumo de agua potable para usos no esenciales, mediante sistemas diseñados y operados bajo criterios de eficiencia, seguridad y normativa vigente.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. El cumplimiento requiere demostrar el diseño e implementación de sistemas de captación, almacenamiento y distribución de aguas pluviales, integrando medidores de flujo y volumen, en conformidad con la norma NCh3580:2019.	Bueno: sistema de captación y distribución de aguas pluviales con requerimientos del crédito y es utilizada en al menos uno de los usos propuestos. Muy Bueno: sistema de captación y distribución de aguas pluviales con requerimientos del crédito y es utilizada en al menos dos de los usos propuestos.
Infraestructura verde y azul	Implementación de techos verdes	Promover la instalación de techos verdes en las infraestructuras del aeropuerto para mejorar la eficiencia energética, regular la temperatura interna y aumentar la biodiversidad local. Estos techos deben estar adaptados a las condiciones climáticas locales y contribuir a la reducción del uso de energía para la climatización de las terminales.	Crédito (voluntario)	Aplica a etapas de diseño y construcción del edificio. Para comprobar el requerimiento se debe elaborar una memoria técnica del sistema diseñado (etapa precertificación) e instalado (etapa certificación), incluyendo la inclusión de especies endémicas o adaptadas junto a sus necesidades hídricas y el cálculo que demuestre que los jardines interiores se encuentran en al menos el 10% de las áreas de alta ocupación de la terminal.	Bueno: El aeropuerto cuenta con techos verdes instalados en al menos el 5% de la superficie de las terminales, con un sistema de riego eficiente que aprovecha el agua de lluvia. Muy Bueno: El aeropuerto cuenta con techos verdes instalados en al menos el 10% de la superficie de las terminales, con un sistema de riego eficiente que aprovecha el agua de lluvia.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Infraestructura verde y azul	Incorporación de jardines verticales	Incentivar la instalación de jardines verticales en áreas de alto flujo de pasajeros dentro del aeropuerto, con el fin de mejorar la calidad del aire interior mediante la absorción de CO ₂ y partículas contaminantes, al mismo tiempo que se enriquece visualmente el entorno y se refuerza el confort ambiental en zonas críticas del terminal.	Crédito (voluntario)	<p>Aplica a zonas de procesos de embarque y desembarque con una ocupación superior a 2,3 personas por metro cuadrado.</p> <p>El cumplimiento requiere diseñar e instalar jardines verticales en las áreas de alta ocupación, utilizando especies vegetales endémicas o adaptadas al clima local, con alta capacidad de absorción de CO₂.</p>	<p>El nivel "Muy bueno" se alcanza si los jardines verticales cumplen todos los requerimientos establecidos y cubren al menos el 20% de la superficie ponderada de los recintos de alta ocupación</p> <p>El nivel "Bueno" si cubren al menos el 10%.</p> <p>En caso de no instalar jardines verticales o de no cumplir los requerimientos técnicos, se considerará que no cumple con el crédito.</p>
Infraestructura verde y azul	Instalación de jardines de lluvia	Incentivar la instalación de jardines de lluvia en áreas exteriores e interiores de aeropuertos, promoviendo la captación, filtración y absorción de aguas pluviales mediante soluciones naturales que reduzcan la escorrentía, mejoren la calidad del agua y contribuyan al fortalecimiento de la sostenibilidad ambiental del entorno aeroportuario.	Crédito (voluntario)	<p>Aplica a terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros, priorizando áreas exteriores que reciban escorrentía significativa.</p> <p>El cumplimiento requiere la instalación de jardines de lluvia en áreas exteriores, siguiendo las especificaciones establecidas en la guía de infraestructura de aguas lluvias del MINVU.</p>	<p>El cumplimiento es binario.</p> <p>El proyecto cumple si implementa jardines de lluvia en al menos el 10% de las áreas exteriores, cumpliendo con los requisitos de diseño, dimensionamiento, vegetación y mantenimiento.</p> <p>En caso contrario, se considerará que no cumple con el crédito.</p>

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Infraestructura verde y azul	Parques interiores	Incentivar la instalación de parques interiores en las áreas de tránsito y espera de los aeropuertos, creando espacios verdes que mejoren la calidad del aire, fomenten el bienestar de los pasajeros y proporcionen entornos naturales relajantes, mediante la incorporación de vegetación diversa, zonas de descanso y diseño inclusivo.	Crédito (voluntario)	Aplica a terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros, considerando las áreas interiores de flujo obligatorio. El cumplimiento requiere la instalación de parques interiores garantizando su integración armónica.	El cumplimiento es binario. El proyecto cumple si implementa parques interiores en al menos el 20% de las áreas de flujo obligatorio, cumpliendo con los requisitos de tamaño, vegetación adecuada, integración arquitectónica y accesibilidad. En caso de no cumplir con estos criterios, se considerará que no cumple con el crédito.
Infraestructura verde y azul	Instalación de estanques o piletas interiores	Promover la mejora del microclima interior del terminal de pasajeros mediante la instalación de estanques o piletas con sistemas de recirculación de agua, contribuyendo a la regulación térmica, a la creación de ambientes naturales agradables y al fortalecimiento de la experiencia de los usuarios en áreas de tránsito y descanso.	Crédito (voluntario)	Aplica a terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros en zonas interiores de alto flujo. El cumplimiento requiere la instalación de estanques o piletas de al menos 3 m ² de las áreas de flujo obligatorio.	El cumplimiento es binario. El proyecto cumple si instala estanques o piletas interiores con sistemas de recirculación en al menos el 10% de las áreas de flujo obligatorio, cumpliendo todos los requisitos de diseño, seguridad y mantención. En caso contrario, se considerará que no cumple con el crédito.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Infraestructura verde y azul	Reducción del efecto isla de calor	Incentivar la integración de infraestructura verde y azul en los diseños de aeropuertos, promoviendo la mitigación del efecto isla de calor, la mejora del confort ambiental y la sostenibilidad de los entornos aeroportuarios, mediante la incorporación de soluciones basadas en la naturaleza como techos verdes, jardines verticales, corredores vegetales, estanques de agua y sistemas de sombreado natural.	Crédito (voluntario)	<p>A plica al diseño y construcción de terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros.</p> <p>El cumplimiento requiere realizar un estudio técnico detallado mediante simulaciones de efecto isla de calor con herramientas como THIS o ENVI-met.</p> <p>En caso de detectar generación de islas de calor, deben implementarse estrategias de mitigación basadas en infraestructura verde y azul, cuya ejecución será verificada en etapa de construcción.</p>	<p>El nivel "Muy bueno" se alcanza si el diseño no genera islas de calor o reduce su efecto en al menos un 75% respecto al diseño original.</p> <p>El nivel "Bueno" si la reducción es de al menos un 50%, el nivel "Aceptable" si la reducción alcanza al menos un 25%.</p> <p>El proyecto no cumple si no se realiza el estudio técnico o no se implementan medidas de mitigación en caso de ser necesarias.</p>
Variable Social	Estudio social del proyecto	Promover que los proyectos aeroportuarios contribuyan al desarrollo social, económico y ambientalmente sostenible de las comunidades locales, mediante la incorporación de criterios de equidad, inclusión, participación ciudadana, empleabilidad local, respeto al patrimonio cultural y promoción de prácticas sostenibles, evaluados en un estudio de impacto social conforme a normativas nacionales y políticas ministeriales vigentes.	Requerimiento (obligatorio)	<p>Aplica a todos los proyectos de diseño y construcción de terminales y refugios aeroportuarios a nivel nacional, independientemente de su escala.</p> <p>El estudio debe evaluar de manera integral la participación ciudadana, la diversidad, la empleabilidad local, los impactos socioeconómicos, ambientales y culturales, así como el bienestar y salud de la comunidad, asegurando cumplimiento de la legislación chilena y la política del MOP.</p>	<p>El cumplimiento es binario.</p> <p>Se considera que un proyecto cumple si desarrolla un estudio social que incluya todos los aspectos indicados, aplicando la normativa y políticas nacionales de referencia.</p> <p>En caso de no integrar o no documentar adecuadamente alguno de los criterios exigidos, el proyecto será considerado como no conforme.</p>

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Variable Social	Promover la equidad y la inclusión social	Promover la equidad, la accesibilidad universal y la inclusión social en los espacios aeroportuarios mediante el diseño de infraestructuras accesibles conforme a normativas nacionales y guías específicas de inclusión.	Requerimiento (obligatorio)	Aplica a todos los terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros, considerando todas las áreas públicas y de circulación. El cumplimiento requiere garantizar accesos inclusivos y espacios adecuados para diversas capacidades, además de exigir que las empresas de diseño y construcción implementen protocolos para la prevención y atención de casos de violencia de género y discriminación.	El cumplimiento es binario. Se considera que el proyecto cumple si garantiza accesibilidad universal en al menos un acceso principal y en todas las áreas públicas, integra enfoque de género y normativas de inclusión en el diseño, y demuestra que las empresas responsables del proyecto cuentan con protocolos de prevención y atención de violencia de género y discriminación.
Variable Social	Promover el bienestar de comunidades aledañas	Fomentar el bienestar socioeconómico y ambiental de las comunidades cercanas al proyecto, a través de la promoción de proveedores locales, la generación de empleo local, la provisión de servicios básicos, la implementación de programas de responsabilidad social corporativa durante las distintas fases de vida del proyecto aeroportuario.	Crédito (voluntario)	Aplica a proyectos de terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros. El cumplimiento requiere evidenciar la incorporación de proveedores y mano de obra local, el diseño y ejecución de programas de capacitación, el levantamiento de necesidades comunitarias, la implementación de programas de responsabilidad social corporativa o la provisión de apoyo a servicios básicos para comunidades ubicadas en un radio de hasta 50 kilómetros.	El nivel "Muy bueno" se alcanza cuando el proyecto cumple con todos los requerimientos propuestos, incluyendo la participación de más de un proveedor local y la implementación de programas de responsabilidad social en más de una comunidad. El nivel "Bueno" se alcanza con la participación de al menos un proveedor local y la ejecución de un programa de responsabilidad social en una comunidad. Si no se logra cumplir adecuadamente con las acciones requeridas o no se demuestra evidencia suficiente, el proyecto no cumple con el crédito.

Categoría	Requerimiento	Descripción	Tipo	Alcance	Niveles
Variable Social	Inclusión de espacios de uso comunitario	Fomentar la inclusión de espacios de uso comunitario en los terminales aeroportuarios, promoviendo el impacto social positivo en comunidades cercanas mediante el diseño de áreas interiores y exteriores destinadas a actividades sociales, culturales y recreativas que fortalezcan el vínculo entre la infraestructura aeroportuaria y su entorno social.	Crédito (voluntario)	Aplica a terminales aeroportuarios y aeródromos de cualquier escala. Se permite la ubicación de espacios exteriores fuera del recinto aeroportuario, siempre que estén vinculados al proyecto.	El nivel "Excelente" se alcanza cuando se destinan al menos 10 m ² + 2,21 m ² por persona a actividades comunitarias. El nivel "Muy bueno" con al menos 10 m ² + 1,7 m ² por persona. El nivel "Bueno" con al menos 10 m ² + 1,1 m ² por persona. En caso de no destinar superficies suficientes o no cumplir los requisitos establecidos, el proyecto no cumple con el crédito.
Variable Social	Mejorar la calidad del aire interior	Promover la implementación de sistemas de monitoreo, alerta y control activo de variables ambientales críticas como temperatura, humedad y concentración de CO ₂ en terminales aeroportuarios, aeródromos y refugios de pasajeros, con el fin de asegurar ambientes interiores saludables, confortables y seguros para los ocupantes durante la operación del edificio.	Crédito (voluntario)	Aplica a recintos regularmente ocupados de terminales aeroportuarios y refugios de pasajeros con una densidad superior a 2 personas por metro cuadrado. Se requiere la incorporación de sensores de monitoreo continuo, sistemas de alerta visual o sonora, y sistemas automáticos de control de temperatura, humedad y concentración de CO ₂ .	El nivel "Muy bueno" se alcanza cuando se implementan sistemas de monitoreo, alerta y control activo para las tres variables ambientales. El nivel "Bueno" cuando se implementan para al menos dos variables El nivel "Aceptable" cuando se implementan para al menos una variable. En caso de no implementar mecanismos de medición y control, el proyecto no cumple con el crédito.

Fuente: Elaboración Propia

8 INTEGRACIÓN PROPUESTAS CON ACA

La Tabla 8-1 presentada a continuación sintetiza una serie de propuestas de requerimientos y créditos en el contexto de la certificación CES. Cada propuesta ha sido evaluada en función de su potencial contribución a los distintos niveles y requisitos técnicos del esquema Airport Carbon Accreditation (ACA).

Como se ha especificado en el ítem 6.3.6 el esquema ACA establece distintos niveles de acreditación —desde el mapeo inicial de emisiones (Level 1) hasta la transición hacia emisiones netas cero (Level 4+)—, cada uno con requerimientos técnicos específicos como la cuantificación de huellas de carbono, el establecimiento de metas y trayectorias de reducción, la implementación de planes de gestión de carbono y la inclusión de actores clave. En la tabla, se indica con una "X" aquellas propuestas que, por sus características técnicas o estratégicas, contribuyen directamente al cumplimiento de uno o más de estos niveles o requisitos.

Las propuestas en materia de uso de agua apuntan a reducir el consumo y fomentar la reutilización, lo que contribuye principalmente a los niveles iniciales del esquema ACA, como el mapeo y la reducción. Aunque no impulsan directamente los niveles más altos, sí sientan bases para una operación sostenible. Las propuestas de las variables de huella de carbono, Net Zero, electromovilidad y cambio climático tienen un impacto más directo en la acreditación, ya que permiten medir, gestionar y trazar metas de reducción. Las acciones orientadas al rendimiento Net Zero son las que se encuentran más alineadas con los niveles 3+ y 4, y exigen una visión integral del ciclo de vida del aeropuerto, sobre todo la que está relacionada a Net Zero operación.

Tabla 8-1: Contribución de Propuestas a los niveles y requisitos del esquema Airport Carbon Accreditation

Categoría	Propuesta	Nivel 1 (Mapeo)	Nivel 2 (Reducción)	Nivel 3 (Optimización)	Nivel 3+ (Neutralidad)	Nivel 4 (Transformación)	Nivel 4+ (Transición)	Declaración de Política	Huella de Carbono	Implementación de Metas	Trayectoria de Metas	Cumplimiento de Metas	Gestión del Carbono	Gestión de Partes Interesadas	Neutralidad
Agua	Sistemas de Agua Potable - Reducir el consumo de agua potable	X										X			
Agua	Reutilización de aguas grises para uso sanitario sin consumo humano	X						X				X			
Agua	Tecnología de reutilización de aguas grises	X						X				X			
Agua	Reutilización de aguas de precipitaciones para uso sanitario sin consumo humano	X						X				X			
Agua	Tecnología de recolección de aguas pluviales	X						X				X			
Agua	Plantas de tratamiento in situ	X										X			
Agua	Uso de agua recolectada y/o reciclada en operaciones aeroportuarias	X										X			
Agua	Sistema de Control y Medición	X						X	X			X			
Agua	Concienciación del uso del agua	X										X			
Agua	Integración de DAP y materiales del edificio	X										X			
Huella de carbono	Declaración ambiental de productos y materiales del edificio		X					X	X						
Huella de carbono	Huella de carbono en operación		X					X	X					X	X
Huella de carbono	Gestión de residuos de construcción y demolición			X				X							
Economía Circular	Valorización de residuos en etapa de construcción	X										X			
Economía Circular	Diseño de materiales con atributos circulares	X										X			
Economía Circular	Diseño para la adaptabilidad	X										X			
Economía Circular	Diseño para la modularidad	X										X			

Categoría	Propuesta	Nivel 1 (Mapeo)	Nivel 2 (Reducción)	Nivel 3 (Optimización)	Nivel 3+ (Neutralidad)	Nivel 4 (Transformación)	Nivel 4+ (Transición)	Declaración de Política	Huella de Carbono	Implementación de Metas	Trayectoria de Metas	Cumplimiento de Metas	Gestión del Carbono	Gestión de Partes Interesadas	Neutralidad
Electromovilidad	Factibilidad de cargas para vehículos eléctricos y/o hidrógeno		X						X			X			
Electromovilidad	Promoción del uso de vehículos sostenibles en aeropuertos		X						X			X	X		
Electromovilidad	Infraestructura de carga y electrolineras		X						X			X	X		
Electromovilidad	Aplicaciones de hidrógeno verde (H2V) en terminales aeroportuarios		X						X			X			
Electromovilidad	Unidades de potencia terrestre de hidrógeno (H2-GPU)		X						X			X			
Electromovilidad	Sistemas de carga eléctrica		X						X			X	X		
Electromovilidad	Rutas y espacios operativos para terminales aeroportuarios		X						X			X	X		
Electromovilidad	Diseño resiliente para terminales aeroportuarios		X						X			X		X	
Net Zero	Alcanzar rendimiento energético net zero				X	X			X	X	X			X	X
Net Zero	Alcanzar rendimiento net zero según diseño				X	X			X	X	X				
Net Zero	Alcanzar rendimiento net zero durante la construcción				X	X			X	X	X				
Net Zero	Alcanzar rendimiento net zero en operación del terminal				X	X			X	X	X			X	X
Net Zero	Medición de energía y agua en terminales de pasajeros	X	X	X	X			X	X	X	X		X		X
Cambio climático	Identificación de riesgos climáticos futuros				X				X			X			
Cambio climático	Instalaciones resilientes al cambio climático				X				X			X			
Cambio climático	Planes de adaptación al cambio climático				X				X			X			
Infraestructura verde y azul	Estudio de factibilidad de cubiertas y muros verdes	X									X	X			

Categoría	Propuesta	Nivel 1 (Mapeo)	Nivel 2 (Reducción)	Nivel 3 (Optimización)	Nivel 3+ (Neutralidad)	Nivel 4 (Transformación)	Nivel 4+ (Transición)	Declaración de Política	Huella de Carbono	Implementación de Metas	Trayectoria de Metas	Cumplimiento de Metas	Gestión del Carbono	Gestión de Partes Interesadas	Neutralidad
Infraestructura verde y azul	Gestión eficiente de aguas pluviales	X									X	X			
Infraestructura verde y azul	Techos verdes en infraestructuras aeroportuarias	X									X	X			
Infraestructura verde y azul	Infraestructura verde en zonas de procesos de pasajeros	X									X	X			
Infraestructura verde y azul	Instalación de jardines de lluvia	X									X	X			
Infraestructura verde y azul	Instalación de estanques o piletas interiores	X									X	X			
Infraestructura verde y azul	Reducción del efecto isla de calor														

Fuente: Elaboración Propia

9 CONCLUSIONES

En las etapas siete a diez del estudio liderado por la Dirección de Aeropuertos del Ministerio de Obras Públicas, aborda la necesidad de adaptar los estándares de sostenibilidad de la Certificación de Edificio Sustentable a las características particulares de los aeropuertos chilenos, considerando factores como huella de carbono, economía circular, innovación y costo social. La infraestructura aeroportuaria plantea desafíos únicos que no son totalmente cubiertos por las certificaciones existentes, como CES v1.1, LEED o BREEAM, debido a su configuración espacial y la magnitud de sus operaciones.

En la subetapa 7.1 se determina estudio sobre la ampliación del Aeropuerto Andrés Sabella de Antofagasta evidenció la relevancia de abordar la huella de carbono en proyectos de infraestructura aeroportuaria. Con una emisión estimada de 26.145 toneladas de CO₂ equivalente derivadas del diseño y la construcción, el terminal de pasajeros representó la mayor proporción (46,3%), seguido por la pista de aterrizaje (29,5%). Al incluir el carbono operacional por un año de funcionamiento, las emisiones totales se incrementaron a 33.364 toneladas, destacando que el consumo energético del terminal de pasajeros constituye el principal factor.

El análisis también subrayó que las decisiones relacionadas con la selección de materiales, especialmente el hormigón y el acero, tienen un impacto significativo, dado que estos representan el 93% del carbono contenido en la infraestructura. Adicionalmente, los escenarios de vida útil proyectados (20 y 50 años) demostraron que el impacto ambiental de la etapa de operación supera ampliamente al de construcción, resaltando la necesidad de optimizar la eficiencia energética.

La propuesta desarrollada en la subetapa 7.2 constituye un avance significativo en la certificación de la huella de carbono operacional en aeropuertos de Chile, integrando criterios de sostenibilidad ambiental en la Certificación de Edificio Sustentable. Basada en metodologías estandarizadas como la norma EN 15978 y el GHG Protocol, la propuesta redefine requisitos claves, garantizando una medición precisa y la gestión eficiente de emisiones. La modificación de la variable 8, que ahora incluye la declaración ambiental de productos y el cálculo del carbono contenido, permite identificar y reducir las emisiones generadas durante la construcción. Paralelamente, la transformación del requisito 19 obliga a calcular el carbono operacional y establecer metas de reducción, lo que fomenta un diseño energéticamente eficiente.

Estas modificaciones están respaldadas por la inclusión de un apéndice que detalla la metodología para calcular el carbono contenido, asegurando compatibilidad con prácticas internacionales. Los resultados esperados incluyen una disminución significativa de emisiones, la optimización de recursos y el fortalecimiento de la competitividad de los aeropuertos en el ámbito global.

Según lo estudiado en la subetapa 8.1 la implementación de medidas basadas en la economía circular en aeropuertos internacionales muestra que es posible lograr una significativa mejora en la sostenibilidad ambiental a través de la integración de prácticas como el diseño modular, el uso de materiales reciclados y locales, y la gestión eficiente de residuos. Los ejemplos exitosos de aeropuertos como Schiphol, Gardermoen y Arlanda revelan que, mediante la optimización de recursos y el fomento del reciclaje, se pueden reducir tanto los costos operativos como el impacto ambiental de las infraestructuras aeroportuarias. Además, las certificaciones internacionales como LEED v4, BREEAM y CES proporcionan marcos efectivos para evaluar y promover la adopción de estas prácticas, adaptadas específicamente al contexto de los aeropuertos.

Los resultados de los casos analizados en la subetapa 8.2 muestran que aplicar criterios de economía circular en proyectos aeroportuarios es viable, aunque con diferencias importantes en implementación, trazabilidad y disponibilidad de información. El diseño para la adaptabilidad fue el único criterio cumplido en los casos estudiados, aunque de forma básica. Esto refuerza la falta de un marco que entregue los lineamientos para que los proyectos cumplan con criterios de circularidad.

Debido a ese levantamiento de información se realizan propuestas de requerimientos y créditos para adoptar en la certificación CES versión Aeropuertos, como la implementación de planes de gestión de residuos de construcción y la separación de residuos operativos, así como el uso de materiales sostenibles y el diseño adaptable, apuntan a crear un entorno aeroportuario más sostenible y eficiente.

El análisis realizado en la subetapa 9.1 ha permitido identificar de manera preliminar estrategias clave para la sostenibilidad de la infraestructura aeroportuaria en Chile, evidenciando la viabilidad de integrar medidas innovadoras en el diseño,

construcción y operación de estos espacios. Los resultados destacan que la implementación de infraestructura verde y azul puede mitigar efectos adversos del cambio climático, como las islas de calor y el manejo eficiente del agua, mientras que la integración de criterios sociales en certificaciones sustentables refuerza el bienestar de las comunidades involucradas. Además, se comprobó que el uso de energías limpias, especialmente el hidrógeno verde y la electromovilidad, tiene un alto potencial para descarbonizar el sector. Estos hallazgos son desarrollados en profundidad en las subetapas 9.2 y 9.3

El estudio desarrollado en la subetapa 9.2 realiza un análisis de referentes internacionales y normativas nacionales, en dónde se identificaron oportunidades clave para adaptar y desarrollar una herramienta CES que permita evaluar y mejorar el desempeño ambiental en aeropuertos.

Entre las propuestas realizadas, se encuentran requisitos y créditos que ponen énfasis en la eficiencia energética, la reducción de emisiones y la gestión responsable de recursos. Estos indicadores, acompañados de metodologías técnicas sólidas, garantizarán una evaluación objetiva y alineada con los estándares internacionales. Asimismo, se propone una escala de niveles que no solo reconozca avances en sostenibilidad, sino que incentive mejoras continuas en áreas como energías renovables y tecnologías limpias.

Un elemento central de esta herramienta es la incorporación de análisis de riesgos específicos, orientados a abordar los desafíos asociados a la adopción de energías como el hidrógeno verde y la electromovilidad. Esto permitirá que los aeropuertos chilenos no solo sean sostenibles, sino también seguros y resilientes en su transición hacia operaciones más limpias.

En hidrógeno verde, se propone la instalación de infraestructuras específicas como plantas de producción in situ y estaciones de abastecimiento. Estas medidas buscan reconocer el uso de hidrógeno en vehículos terrestres y aeronaves, asegurando un suministro eficiente y fomentando proyectos piloto en aeropuertos clave.

Para la electromovilidad, las propuestas incluyen la incorporación de electrolineras estratégicamente ubicadas dentro de los aeropuertos y el despliegue de flotas eléctricas para vehículos de apoyo en tierra, buses de transporte de pasajeros y taxis. Asimismo, se contempla la entrega de créditos a aeropuertos que integren infraestructura de carga rápida y adopten energías renovables para su operación.

En cuanto a las estrategias NetZero, se plantean créditos específicos para aeropuertos que implementen sistemas de eficiencia energética, utilicen materiales de construcción sostenibles y reduzcan significativamente su huella de carbono operativa.

El estudio desarrollado en la subetapa 9.3 sobre cambio climático, infraestructura verde y azul, y la variable social en el contexto de una certificación sustentable para aeropuertos. Se realizó un levantamiento de información normativa y el análisis de casos nacionales e internacionales, se identificaron prácticas innovadoras en sostenibilidad, resiliencia climática y cohesión social. Este análisis consideró herramientas como modelos de proyección climática y bases de datos de alta resolución, así como revisiones de certificaciones internacionales como LEED, BREEAM y Envision.

Las propuestas de requerimientos y créditos desarrolladas incluyen criterios sociales en el diseño y operación de aeropuertos, fomentando la accesibilidad universal, el bienestar de los usuarios y la generación de espacios inclusivos. Junto a ello se plantearon créditos para fortalecer la cohesión social a través de iniciativas como programas de integración comunitaria, y la implementación de áreas de recreación o servicios básicos que mejoren la calidad de vida de las comunidades aledañas.

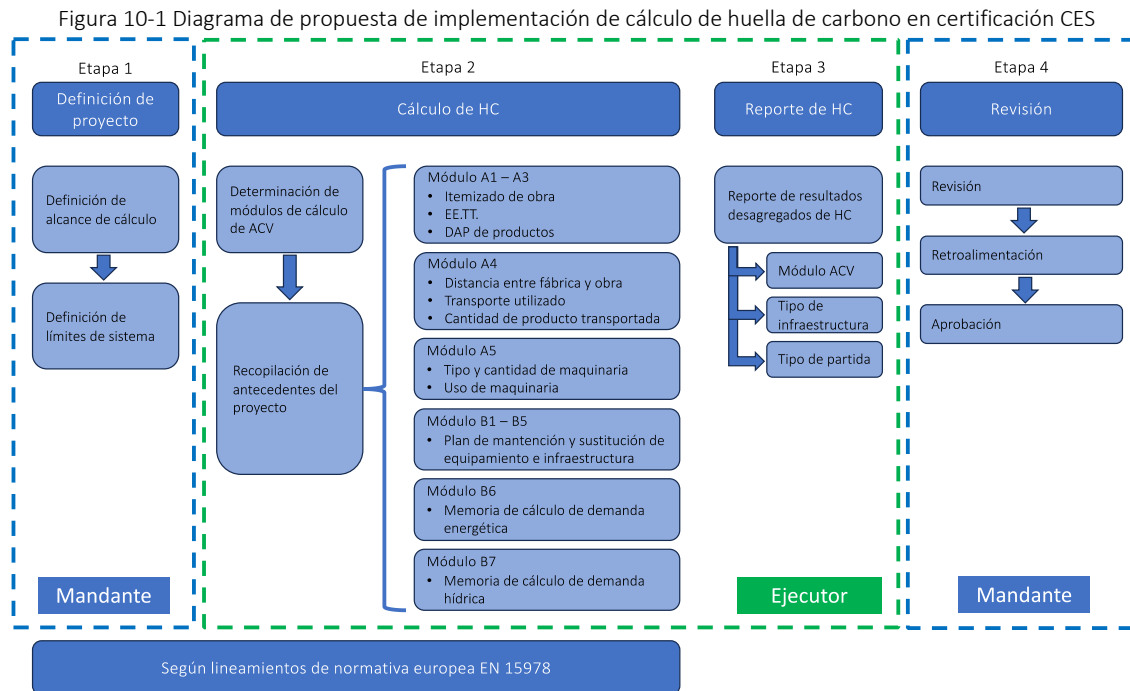
La etapa 10 propone una ampliación metodológica de la evaluación social de proyectos de infraestructura aeroportuaria, al incorporar nuevas fases del ciclo de vida (A1–A5) en la cuantificación del costo social asociado a las emisiones de carbono, tradicionalmente limitado a la etapa operativa (B6). Esta ampliación permite valorar de forma más completa las externalidades ambientales desde etapas tempranas, justificando económicamente la integración de medidas de eficiencia energética y economía circular.

Con esta propuesta se evaluó el caso del Aeropuerto Internacional Andrés Sabella donde se evidenció que, aunque la mayor parte de las emisiones proviene de la operación, las etapas iniciales pueden representar hasta un tercio de la huella de carbono total, reforzando la pertinencia de su inclusión.

Por último, en la etapa 11 se consolidan los aspectos y propuestas levantadas a lo largo del análisis de las etapas 7 a 10, mediante una integración de normativas, metodologías, identificación de brechas, el desarrollo de indicadores, propuestas de herramientas específicas y criterios aplicables al sistema CES para infraestructura aeroportuaria. Esta información junto a los resultados obtenidos sienta las bases para decisiones del Comité Técnico CES en cuanto a la incorporación de nuevos créditos, exigencias y mecanismos de evaluación para la certificación sustentable de terminales y refugios aeroportuarios.

10 ANEXO 1: PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO EN CERTIFICACIÓN DE EDIFICIO SUSTENTABLE (CES)

Considerando los resultados del presente informe, las brechas detectadas y las recomendaciones generales realizadas para la implementación del cálculo de emisiones de CO₂ equivalente en proyectos aeroportuarios, se elaboró la siguiente propuesta (Figura 10-1) para implementar esta metodología dentro del instrumento de certificación de edificio sustentable.



Fuente: Elaboración propia

10.1 ETAPA 1: DEFINICIÓN DE PROYECTO

Esta etapa es de responsabilidad del mandante del proyecto y debe seguir los lineamientos establecidos en la normativa EN 15978.

En la primera etapa, el mandante deberá determinar el alcance del cálculo de la huella de carbono, es decir, que etapas del ciclo de vida requiere que sean consideradas en el cálculo de emisiones. Este alcance puede considerar solamente la construcción de la infraestructura o además puede incorporar su etapa de funcionamiento por un periodo determinado. Eventualmente se podría considerar una etapa de fin de ciclo de vida (remodelación, demolición, etc.), sin embargo, el propio mandante debiese determinar el escenario de fin de ciclo de vida y los supuestos a considerar.

Luego se procede a definir los límites del sistema, en donde el mandante determinar hasta qué punto las emisiones son de responsabilidad de la empresa que ejecuta el proyecto y opera la infraestructura. Esto es sumamente relevante en aquellos proyectos que consideren el cálculo de emisiones en la etapa de operación, ya que, en el contexto de operación de infraestructura aeroportuaria, existen diversas emisiones que provienen de empresas externas al aeropuerto, como por ejemplo el transporte aéreo, que forma parte de la operación de la aerolínea y no del operador del aeropuerto.

10.2 ETAPA 2: CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO

Esta etapa es de responsabilidad del ejecutor del proyecto y debe seguir los lineamientos establecidos en la normativa EN 15978.

La empresa encargada del cálculo de huella de carbono deberá determinar aquellos módulos que sean atingentes al alcance y límite de sistema determinado por el mandante. Esta determinación estará sujeta a la disponibilidad de antecedentes técnicos por parte del mandante.

Una vez determinados aquellos módulos del ciclo de vida de la infraestructura que serán calculados, el ejecutor deberá recopilar todos aquellos antecedentes mínimos necesarios para el cálculo de huella de carbono de cada módulo, los cuales se describen a continuación:

I. Módulo A1 – A3

- Itemizado de la obra: Necesario para determinar la cantidad de cada material a utilizar en cada partida del proyecto.
- Especificaciones técnicas (EE.TT.): Necesarias para identificar las características de los materiales a utilizar en cada partida.
- DAP de productos: La declaración ambiental de producto (DAP o EPD, por sus siglas en inglés) es un elemento indispensable para el cálculo de huella de carbono, ya que entrega la información detallada de las emisiones de un producto en su etapa de extracción de materias primas, transporte a fábrica y fabricación. El ejecutor deberá utilizar una ficha DAP que coincida con las características del material descritas en las EE.TT. del proyecto. Eventualmente, el mandante podrá exigir la utilización de una ficha DAP específica para algún material crítico (como el hormigón o el acero, por ejemplo) para asegurar la idoneidad de los datos considerados para el cálculo de emisiones.
- La ficha DAP a utilizar deberá estar vigente al momento del cálculo de HC y deberá estar realizada de acuerdo a la normativa vigente establecida por The International EPD® System, es decir, la última versión vigente de la normativa europea EN 15804:2012+A2:2019.

II. Módulo A4

- Distancia entre obra y fábrica: El ejecutor deberá estimar una distancia entre el sitio de construcción del proyecto y el lugar de compra de los materiales a utilizar, para determinar el impacto del transporte de los distintos materiales a utilizar en la obra.
- Transporte utilizado: Se deberá identificar el vehículo a utilizar para el traslado de cada material, indicando su rendimiento (en km/litro) y el tipo de combustible que utiliza (gasolina, diesel, etc.).
- Cantidad de producto transportado: Se deberá informar la cantidad de producto transportado en cada viaje de cada vehículo (expresado en toneladas). Eventualmente, el ejecutor podrá considerar la capacidad total de carga del vehículo para efectos de simplificar el cálculo, lo cual debe ser informado explícitamente en el reporte final.

III. Módulo A5

- Tipo y cantidad de maquinaria: Se deberá detallar las maquinarias a utilizar en la ejecución de la obra, indicando como mínimo el tipo de maquinaria, marca, modelo, consumo de combustible (litros/hora) y tipo de combustible (gasolina, diesel, etc.).
- Uso de maquinaria: El ejecutor deberá estimar la cantidad de horas de uso de cada maquinaria en cada partida que corresponda.

IV. Módulo B1 – B5

Plan de mantenimiento y sustitución de equipamiento e infraestructura: El ejecutor deberá elaborar un plan detallado de mantenimiento de la infraestructura considerando la vida útil de los materiales utilizados en la construcción y del equipamiento contemplado en el itemizado de la obra. Este plan deberá cubrir el mantenimiento de la infraestructura, la reparación de distintos elementos de la infraestructura, la sustitución de equipamiento esencial para el funcionamiento de la infraestructura y la rehabilitación de espacios. Este plan deberá realizarse bajo un escenario supuesto previamente descrito y el mandante podrá establecer diversos criterios para la elaboración de este escenario, como la vida útil del proyecto o el reemplazo de algún elemento esencial de la infraestructura cada cierto tiempo. Este plan debe ser claro y específico en determinar que productos y que plazos serán considerados en la mantención.

V. Módulo B6

Memoria de cálculo de demanda energética: El ejecutor deberá estimar el consumo energético anual de la infraestructura bajo un escenario de funcionamiento estándar, según los criterios que establezca el mandante. Esta estimación estará detallada en una memoria de cálculo que deberá indicar todos los supuestos considerados, clasificar la información por cada edificio del proyecto y el tipo de demanda (climatización, iluminación, equipos electromecánicos, telecomunicaciones, etc.). La demanda energética anual deberá ser expresada en [kWh/año] y segregada por cada edificio y tipo de consumo. Además, se deberá indicar la fuente de la energía utilizada en cada categoría (red pública, generador diesel, planta fotovoltaica, etc.).

VI. Módulo B7

Memoria de cálculo de demanda hídrica: El ejecutor deberá estimar el consumo de agua anual de la infraestructura bajo un escenario de funcionamiento estándar, según los criterios que establezca el mandante. Esta estimación estará detallada en una memoria de cálculo que deberá indicar todos los supuestos considerados, clasificar la información por cada edificio del proyecto y el tipo de demanda (consumo humano, riego, climatización, etc.). Esta demanda anual deberá estar expresada en [m³/año].

VII. Resto de módulos

Los módulos de fin de ciclo de vida (C1 – C4) y beneficios más allá del límite de sistema (D) serán considerados solamente si el mandante los requiere y bajo el escenario que el propio mandante describa.

- Etapa 3: Reporte de huella de carbono: El ejecutor deberá elaborar un reporte de huella de carbono del proyecto analizado, expresando las emisiones en toneladas de CO₂ equivalente (ton CO₂ eq) y deberá tener los resultados desagregados bajo las siguientes categorías como mínimo:
 - Módulo de ACV: Emisiones detalladas de cada módulo de ACV por separado.
 - Tipo de infraestructura: Emisiones detalladas por cada tipo de infraestructura implicada en el proyecto.
 - Tipo de partida: Emisiones detalladas de cada tipo de partida involucrada en la construcción de la infraestructura (obras previas, obra gruesa, instalaciones, terminaciones, etc.).
 - Este informe deberá ser subido a la plataforma online de la certificación CES para su posterior revisión por parte de los organismos pertinentes.
- Etapa 4: Revisión
 - En esta etapa el mandante deberá analizar el reporte de emisiones elaborado por la empresa encargada de la ejecución del proyecto, realizar las observaciones pertinentes en el caso de que haya deficiencias en el cálculo de huella de carbono y aprobar el reporte de emisiones una vez que se hayan subsanado las observaciones y se apruebe el reporte final.
 - En esta etapa eventualmente se puede aplicar un mecanismo de revisión de terceros ejecutado por una organización externa al mandante, con el propósito de añadir mayor transparencia al proceso

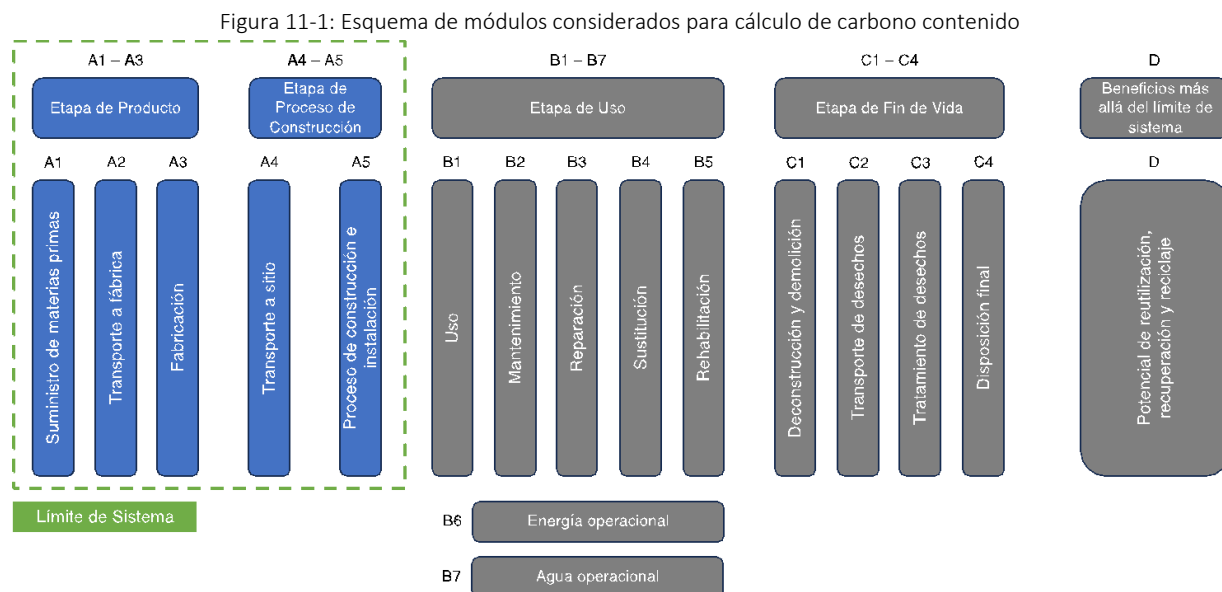
11 ANEXO 2: PROPUESTA DE CREACIÓN APÉNDICE 24: CARBONO CONTENIDO

La creación del nuevo requisito 8.2 para el cálculo de la huella de carbono del edificio requiere una serie de lineamientos metodológicos que actualmente la versión 1.1 del manual CES no tiene, por lo que se propone la creación de un nuevo apéndice (preliminarmente denominado, apéndice 24) el cual tiene como objetivo determinar una metodología para el correcto cálculo del carbono contenido en la infraestructura aeroportuaria.

La propuesta de Apéndice 24: Carbono Contenido se presenta a continuación:

El carbono contenido o huella de carbono hace referencia a la suma de los impactos ambientales que tienen diversos GEI en la atmósfera expresados en CO₂ equivalente, lo cual permite tener una unidad de medida en común para poder sumar y comparar las emisiones de distintos GEI, principalmente dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

De acuerdo con la normativa europea EN15978:2011 “Sostenibilidad en la construcción: Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo”, el objetivo de esta metodología de cálculo es proporcionar reglas de cálculo para la evaluación del comportamiento ambiental de edificios nuevos y existentes.



Fuente: Elaboración Propia en base a Normativa Europea EN 15978 (European Committee for Standardization, 2011)

Para el correcto cálculo del carbono contenido de un edificio se deben seguir los siguientes pasos:

- Definición de límite de sistema: El límite de sistema se refiere a todos los procesos que son considerados en la evaluación del ciclo de vida. Para el cálculo del carbono contenido, el límite de sistema estará limitado entre los módulos A1 y A5, de acuerdo con los lineamientos de la norma EN 15978 (ver figura 9.1), los cuales se detallan a continuación.
 - Etapa de producto (A1 – A3): Está relacionada con la huella ambiental asociada a los materiales utilizados en la construcción, desde la extracción de sus materias primas hasta su transporte a los centros de distribución. Este enfoque se denomina “de la cuna a la tumba” (conocido en inglés como “cradle to gate”) y las reglas para determinar los aspectos e impactos ambientales de un producto de construcción se detallan en la normativa europea EN 15804. Estos datos deberán provenir de las fichas de información ambiental declaradas en el requisito CES 8.1.
 - Etapa de proceso de construcción (A4 – A5): Esta etapa considera los procesos desde la puerta del centro de distribución de los distintos materiales hasta la finalización de la obra en construcción. Estos datos deberán provenir de las fichas de información ambiental declaradas en el requisito CES 8.1. En caso de que

algún material o producto de construcción no posea información de los módulos A4 y/o A5 declarada en su ficha, se podrá omitir dicho módulo para el cálculo de carbono contenido.

2. Recopilación de datos: El cálculo de carbono contenido requiere de dos datos relevantes: el índice GWP total del material o producto a utilizar y la cantidad de dicho material o producto. El índice GWP total deberá provenir de la ficha de información ambiental declarada en el requisito CES 8.1; mientras que la cantidad de material deberá provenir del itemizado oficial o del presupuesto oficial del proyecto en evaluación. Si un material o producto posee una unidad de medida distinta a la indicada en la ficha de información ambiental, se deberá transformar dicha unidad mediante un cálculo debidamente justificado para que coincida con el índice de calentamiento global declarado.
3. Cálculo de carbono contenido: El carbono contenido en cada etapa del ciclo de vida deberá expresarse en toneladas de CO₂ equivalente [ton CO₂ eq].
 - a. Etapa de producto (A1 – A3): Las emisiones de esta etapa corresponden a la sumatoria de todas las cantidades de material del proyecto multiplicada por su índice de calentamiento global respectivo.

$$[A1 - A3] = \sum_{i=1}^n \text{Cantidad de Material} \times \text{GWP del Material}$$

Donde “n” corresponde a la totalidad de materiales del proyecto

- b. Transporte a sitio (A4): El cálculo de la etapa A4 está relacionado con el transporte de los materiales al sitio de la obra, por lo que las distancias a considerar deberán ser referencia entre la ubicación exacta del proyecto y un punto de distribución de materiales determinado. El índice de calentamiento global considerado depende del tipo de transporte utilizado para transportar el material, de acuerdo con lo especificado en la tabla 9.1

Tabla 11-1: Índices de calentamiento global (GWP) según vehículo de carga

Tipo de Transporte	Índice de calentamiento global [kg CO ₂ eq / km]
Van [1 ton]	0,5635
Camión [3 ton]	0,6276
Camión [11 ton]	0,9537

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, el impacto de la etapa 4 corresponde a la sumatoria de todas las distancias del material a la obra multiplicada por la cantidad de viajes y por el índice de calentamiento global del vehículo utilizado.

$$[A4] = \sum_{i=1}^n \text{distancia a Obra} \times \text{Nro de Viajes} \times \text{GWP de transporte}$$

- c. Proceso de construcción e instalación (A5): Las emisiones de esta etapa corresponden a la sumatoria de todas las cantidades de material del proyecto multiplicada por el índice de calentamiento global correspondiente al módulo A5.

$$[A5] = \sum_{i=1}^n \text{Cantidad de Material} \times \text{GWP del Material}$$

Donde “n” corresponde a la totalidad de materiales del proyecto

En el caso que el material o producto no posea el cálculo de su módulo A5, este podrá no ser considerado.

El cálculo de carbono contenido podrá ser realizado mediante una planilla que contenga la cuantificación de los materiales de acuerdo a los criterios exigidos y los índices de calentamiento global por cada uno de estos, debidamente respaldado por fichas de declaración ambiental de acuerdo a la EN 15804:A2. También se podrá utilizar algún software que integre este tipo

de análisis junto con evaluaciones propias de la etapa del diseño, por ejemplo: el módulo de LCA en la herramienta UBAKUS, o en el software ECO-SAI, los cuales cuentan con bases de datos de materiales de construcción bajo esta misma normativa o bien pueden ser agregados manualmente por el usuario. Otra opción puede ser el uso de algún módulo complementario al software utilizado para la etapa de simulación energética, por ejemplo, el módulo de ACV y carbono incorporado en Design Builder. Finalmente, también podrán ser utilizadas herramientas más específicas como son click LCA, Open LCA, SimaPro, Umberto, Gabi, o que podría ser útil en situaciones donde las otras opciones de herramientas no fueran suficientes. De todas formas, estos análisis deberían considerar los requerimientos de la EN 15804:A2.

Cualquier omisión de información o excepciones a la metodología descrita en este apéndice, deberá estar debidamente justificada y descrita en la memoria de cálculo.

12 ANEXO 3: METODOLOGÍAS DE CÁLCULO PARA CAMBIO CLIMÁTICO

12.1 METODOLOGÍA SIMPLE PARA PRESENTAR QUE SEA INCORPORADA A CES

A continuación, se presenta una propuesta de métodos plausibles y de fácil implementación computacional para calcular valores diarios de variables continuas a partir de valores medios mensuales recopilados de modelos de simulación. También propondremos un método que nos permita calcular datos medios mensuales de precipitación a valores diarios. En la segunda parte propondremos la interpolación de datos continuos medios diarios a horarios mediante series de Fourier.

12.1.1 Datos medios mensuales a diarios

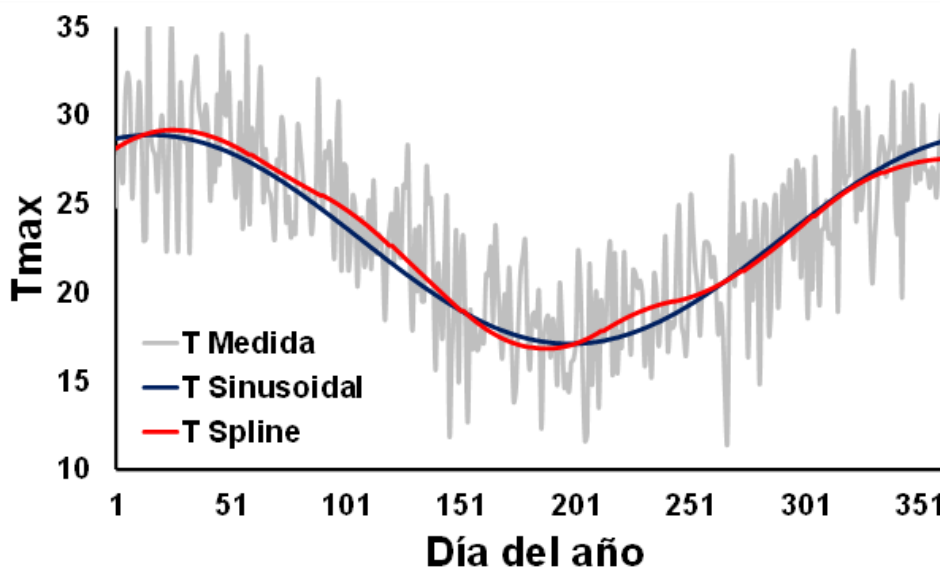
Variables continuas

Una buena aproximación es utilizar un comportamiento sinusoidal para simular datos diarios de temperatura a partir de valores medios mensuales de enero y julio, esto es

$$Y(i) = Y_{\max} - 0.5(Y_{\max} - Y_{\min}) \left[1 - \text{seno} \left(\frac{2\pi}{365} (\phi + i) \right) \right] + \varepsilon \quad (1)$$

donde Y_{\max} corresponde al valor de enero, Y_{\min} corresponde al valor de julio, ϕ es un valor asociado al desfase, i es el día del año en valor juliano y ε es el error asociado a la estimación que puede ser estimado a partir de un valor aleatorio con distribución normal.

Figura 12-1: Valores diarios estimados a partir de la ecuación y para temperatura de una localidad de la Zona Central de Chile usando un ajuste sinusoidal (Azul) e interpolación spline (Rojo).



Fuente: Elaboración propia

El método propuesto por la ecuación 1 presenta algunas complicaciones, primeramente, porque el período de algunas variables meteorológicas no es simétrico. Por ello cuando se cuenta con datos medios mensuales, esto es los 12 meses, es posible realizar una interpolación segmentaria entre meses para generar una curva anual más realista. La Figura 12-1 muestra los valores diarios de temperatura máxima de una localidad en Chile central (Gris), mostrando además los ajustes estimados a partir usando un ajuste sinusoidal (Azul) e interpolación spline (Rojo). Es posible notar en esta figura que el ajuste spline es mucho más realista que el ajuste sinusoidal (usado ampliamente en la confección de atlas climáticos y agroclimáticos) ya que puede reproducir adecuadamente las variaciones que ocurren entre estaciones. El ajuste sinusoidal por otra parte, no es un

mal ajuste, sin embargo, en otras variables muestra errores mayores, por lo que no es recomendable en todas las variables climatológicas.

Interpolación Segmentaria

Este tipo de interpolación es conocida como interpolación segmentaria o spline (Burden, 1985). Tradicionalmente se utiliza un solo polinomio para interpolar datos, sin embargo, este método usa ajustes locales de polinomios por segmentos en la serie de datos. Las funciones o polinomios ajustados pueden ser de diferente orden, siendo el cubico el que ha dado mejores resultados en todos los casos. De esta forma, podemos decir que las funciones tipo spline se encuentra formada por varios polinomios, donde cada uno puede ser definido en un intervalo específico, bajo condiciones de continuidad específicas.

Hemos elegido por la estructura de los datos climatológicos en Chile el método de interpolación por segmentos de grado 2. Para poder aplicar este método, se toman tres intervalos que se solapan en algún punto, luego en cada uno de estos intervalos se define una función polinomial de grado 2, esto es:

$$S(x) = \begin{cases} a_1 \cdot x^2 + b_1 \cdot x + c_1 \\ a_2 \cdot x^2 + b_2 \cdot x + c_2 \\ a_3 \cdot x^2 + b_3 \cdot x + c_3 \end{cases} \quad (2)$$

Es siguiente paso es hacer que cada polinomio local o spline pase por los puntos definidos en la tabla de datos. Con este procedimiento tenemos un conjunto de ecuaciones que definen un sistema que permitirá encontrar las incógnitas. Ahora lo que queda por hacer es que las derivadas sean continuas. Para nuestro caso, spline de grado 2, se necesita que el polinomio sea continuo en la primera derivada. Si calculamos la primera derivada tenemos:

$$S'(x) = \begin{cases} 2 \cdot a_1 \cdot x + b_1 \\ 2 \cdot a_2 \cdot x + b_2 \\ 2 \cdot a_3 \cdot x + b_3 \end{cases} \quad (3)$$

Las derivadas se encuentran formadas por rectas en cada uno de los segmentos, luego podrían presentar discontinuidad en los cambios de intervalo. Para que $S'(x)$ sea continua, se debe cumplir que:

$$\begin{aligned} 2 \cdot a_1 + b_1 &= 2 \cdot a_2 + b_2 \\ 2 \cdot a_2 + b_2 &= 2 \cdot a_3 + b_3 \end{aligned} \quad (4)$$

De esta forma es posible obtener un total de 8 ecuaciones con 9 incógnitas, pero para encontrar la solución elegimos $a_1 = 0$ para tener un total de 8 ecuaciones con 8 incógnitas.

Radiación solar

Cuando no se poseen datos de radiación solar es posible estimarla a partir de la información metodológica también incluida en el documento FAO-56. El algoritmo implementado para la estimación de la radiación global R_g se basa en el cálculo teórico de la radiación solar extraterrestre o radiación de Angot (R_a) y modificarla por un coeficiente denominado transparencia de la atmósfera. Hargreaves-Samani (Hargreaves, 1982, Allen et al., 1997) propone la ecuación:

$$\frac{R_g}{R_a} = K_R = K_{RA} \cdot \sqrt{\left(\frac{P}{P_o}\right)} \cdot \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} \quad (4)$$

Donde K_R es el coeficiente de transparencia de la atmósfera definido como la razón entre la radiación global medida en superficie y la radiación extraterrestre o de Angot. Además, P es la presión atmosférica (kPa) para un lugar específico y P_o la presión atmosférica a nivel del mar (101.3 kPa), T_{\max} y T_{\min} son las temperaturas máximas y mínimas diarias respectivamente, y K_{RA} es un coeficiente empírico, con valores sugeridos por la literatura de 0.17 para regiones interiores y 0.2 para zonas costeras, sin embargo es necesario calibrarlos a nivel territorial (Allen, 1997; Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A., 1982; Mendicino and Senatore, 2013). En general, la red meteorológica nacional posee en promedio solamente alrededor de quince años con datos continuos de radiación solar a nivel horario medidos con redes de estaciones meteorológicas automáticas. Desde el punto de vista estadístico, la OMM señala que son necesarios treinta años para contar con un comportamiento robusto y representativo de los datos medidos. Por ello, es estrictamente necesario calibrar los datos estimados mediante modelos, simplemente realizando una regresión entre los datos medidos y los estimados por modelos. A continuación, exponemos un método plausible para estimar radiación solar mediante el uso de valores de radiación solar extraterrestre. La radiación solar extraterrestre o radiación de Angot, se estimó a nivel diario como una función de la latitud de la localidad y del día del año, dada por la ecuación 23 (Allen, R.G. et al., 1998; Iqbal, 1983):

$$I_e = \left(\frac{1}{\pi}\right) \cdot I_{sc} \cdot E_o \cdot [h_s \cdot \sin(\phi) \cdot \sin(\delta) \cdot \sin(\omega_s) + \cos(\lambda) \cdot \cos(\phi) \cdot \sin(h_s)] \quad (5)$$

Donde I_{sc} es la constante solar ($117.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), ϕ es la latitud de la localidad, E_o es un factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre dada alrededor del sol, δ es la declinación solar y ω_s el ángulo horario solar. La distancia Tierra-Sol puede estimarse de forma simple por:

$$E_o = 1 + 0.033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{365}\right) \quad (6)$$

Al igual que la declinación solar puede ser aproximada por:

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left[\frac{360}{365}(d + 284)\right] \quad (7)$$

Un método propuesto por Black (1956) para estimar el coeficiente K_R , como una función de la temperatura, está dado por (Black et al, 1956):

$$K_R(C) = 0.803 - 0.340 \cdot C - 0.458 \cdot C^2 \quad (8)$$

Donde C es la cobertura de nubes, donde 0 indica cielo despejado y 1 indica cielo totalmente cubierto, pero no se indica el tipo de nubosidad. Adicionalmente, a partir de datos medios mensuales de 65 estaciones meteorológicas en USA, ubicadas entre los 7 y 50 grados de latitud norte, se encontró la siguiente relación para la ecuación 22 (Knapp et al., 1980):

$$K_R(\Delta T) = 0.0018 \cdot \Delta T^2 - 0.0433 \cdot \Delta T + 0.4023 \quad (9)$$

Donde ΔT corresponde a la diferencia entre las temperatura máxima y mínima diaria. La ecuación de Penman–Monteith (Allen et al 1989; Allen et al, 1998; Allen et al, 2006) es usada como una referencia a nivel mundial para el cálculo de ETo (Ventura et al., 1999).

Para las variables continuas desarrolladas anteriormente a nivel diario, es posible agregarle ruido estocástico para hacerlas más realistas, de esta forma es plausible estimar años en función de una variabilidad intrínseca de la serie de datos reales. Por ejemplo, en el caso de la temperatura, es posible estimar esta variabilidad a partir del conocimiento de las desviaciones estándar medias mensuales. Un procedimiento útil, basado en el método de las convoluciones, usa el siguiente algoritmo

- i.- Se generan k valores de variable aleatoria con distribución uniforme en el intervalo (0,1), y luego se suman, $\sum r_i$.
- ii.- El valor de la variable aleatoria con distribución normal se genera con:

$$x = \mu_x + \sigma_x \sqrt{\frac{12}{k}} \left(\sum r_i - \frac{k}{2} \right) \quad (10)$$

Precipitación

El fenómeno del monto diario de precipitación puede ser considerado de naturaleza estocástica. En efecto, esta premisa puede ser respaldada por el hecho de que, asociado a cada evento de monto diario de precipitación, existe una probabilidad de ocurrencia, que no necesariamente es independiente de los montos caídos en días anteriores. De esta forma podemos asociar a cada evento una cierta probabilidad de ocurrencia, que depende de los eventos anteriores, denominados probabilidades de transición. Podemos citar como ejemplo, la siguiente matriz:

$$P = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{vmatrix} \quad (11)$$

donde p_{11} representa la probabilidad que llueva hoy, dado que ayer llovió, p_{12} la probabilidad que llueva hoy, dado que ayer no llovió, p_{21} la probabilidad que no llueva hoy, dado que ayer llovió y p_{22} la probabilidad que no llueva hoy dado que ayer no llovió. Estos valores de probabilidades de transición son estimados desde series históricas de datos pluviométricos. A un proceso de este tipo se le denomina proceso en cadena de Markov (Richardson, 1981; Geng et al, 1986; Selker and Haith, 1990).

La precipitación diaria se genera mediante un proceso en cadena de Markov de primer orden, en donde la probabilidad de un evento es dependiente de los resultados previos obtenidos en dicho evento (Mansilla, 1993). En el caso de la precipitación, las probabilidades del estado del sistema son solo dos: llueve o no llueve. La matriz de probabilidades de transición, la cual indica el cambio de un estado a otro en el sistema, se encuentra dada por la probabilidad de que llueva hoy dado que ayer llovió (P_{ww}) y la probabilidad de que llueva hoy dado que ayer no llovió (P_{wd}), las cuales se encuentran normalizadas y su adición es igual a la unidad. Geng et al (1986) propone que estas probabilidades son dependientes de la fracción de días con lluvia promedio de cada mes (F_{wet}), de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$F_{wet} = \frac{n_{rain}(i)}{N(i)} \quad (12)$$

$$P_{wd} = 0,75 \times F_{wet} \quad (13)$$

$$P_{ww} = 0,25 + P_{wd} \quad (14)$$

donde $n_{rain}(i)$ es la frecuencia de precipitaciones del mes i, que se obtiene de anuarios meteorológicos, y corresponde al número de días con lluvias promedios para cada mes. $N(i)$ corresponde al número de días del mes i, por lo tanto, F_{wet} corresponde a la fracción de días con lluvia para un mes i. El algoritmo de cálculo considera la resta de P_{ww} o P_{wd} , dependiendo si el día previo hubo lluvia o no. En el caso que ayer haya llovido, se tiene:

$$C = RND - P_{ww} \quad (15)$$

Pero en caso contrario -esto es ayer no llovió- :

$$C = RND - P_{wd} \quad (16)$$

En ambos casos Rnd, corresponde a un número aleatorio con distribución uniforme que varía entre 0 y 1. Si el resultado es menor que cero, entonces ocurre una lluvia, en caso contrario no precipita este día.

Si se está en presencia de un día con lluvia, el monto pluviométrico es calculado suponiendo que éste obedece a una distribución tipo Weibull (W. Weibull, 1951), de acuerdo a:

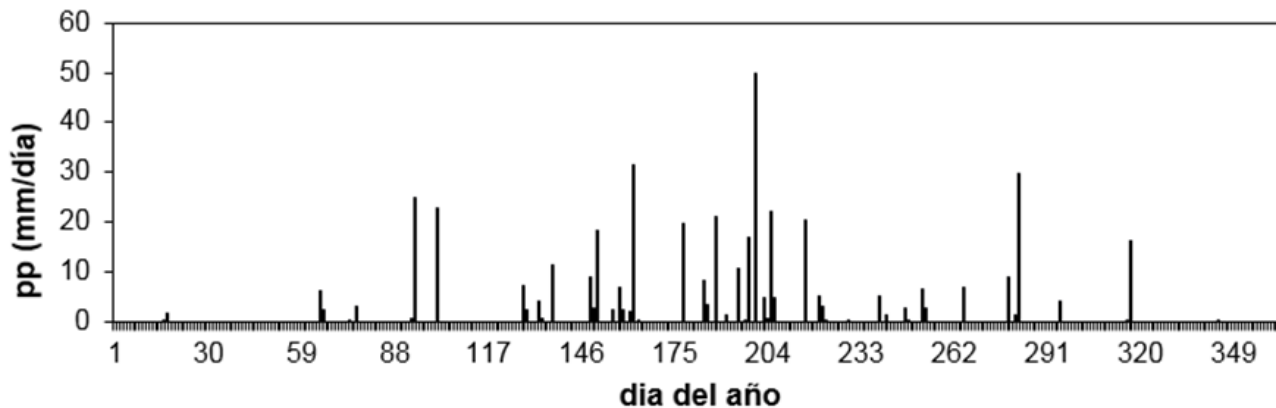
$$rain = 0,84 \times ppx \times (-Ln(r))^{1,333} \quad (17)$$

Donde *rain* es el monto de lluvia (mm día⁻¹) y *ppx* es el promedio de lluvia por tormenta para un mes dado, dado por:

$$ppx = \frac{pp(i)}{F_{wet} N(i)} \quad (18)$$

donde *pp(i)* corresponde a la precipitación media mensual del mes *i*, y *r* es un número aleatorio con distribución uniforme que varía entre 0 y 1.

Figura 12-2: Aplicación de la rutina de generación de eventos de precipitación en una localidad de Chile central para un año cualquiera.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 12-2 muestra una aplicación de la rutina de generación de eventos de precipitación en una localidad de Chile central. Como es una sola simulación, esta corresponde a un año teórico, el cual puede ser tener las características de cualquier año, ya sea considerado como un año lluvioso o seco. La simulación parte el 1 de enero (día=1) y termina el 31 de diciembre (Día=365), lo que queda expresado en día juliano. El generador de precipitaciones debe ser aplicado varias veces, por ejemplo 30 o 50 años, para generar todo tipo de situaciones climatológicas consistentes con las series reales de la cual provienen en cuanto a su caracterización estadística. Podría ocurrir que en algunas simulaciones el algoritmo entregue montos muy altos, ya que se usa la función de distribución de probabilidades de Weibull, este caso es corregido mediante un filtro que restringe la precipitación máxima en 24 horas para ese evento a los valores climatológicos observados para un mes dado.

12.1.2 Datos diarios a horarios

Para estimar datos horarios de variables meteorológicas continuas (Por ejemplo, temperatura horaria a partir de las temperaturas máximas TX y mínimas TN diarias), se pueden utilizar series de Fourier. Si utilizamos valores extremos diarios de una variable como Y máximo (Y_x) e Y mínimo (Y_N), entonces, es posible estimar el valor horario de esta variable a partir de la ecuación

$$Y_{hora} = Y_{wf} \cdot Y_x + (1 - Y_{wf}) \cdot Y_N \quad (19)$$

donde

$$Y_{wf} = 0.44 - 0.46 \cdot \text{Sin} \left[\left(\frac{\pi}{12} \right) \cdot t + 0.9 \right] + 0.11 \cdot \text{Sin} \left[\left(\frac{2\pi}{12} \right) \cdot t + 0.9 \right] \quad (20)$$

Es necesario, para cada localidad estudiada en Chile, el poder calibrar los parámetros de la ecuación 20 para todas las variables continuas utilizadas para calcular el comportamiento bioclimático de un edificio a partir de un software específico o código computacional propio, si fuese necesario.

12.2 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA DETERMINAR AUMENTO DE RIESGOS EN EL DISEÑO Y VARIABLES METEOROLÓGICAS

En el contexto del cambio climático y sus impactos en los patrones meteorológicos, la incertidumbre respecto a las condiciones futuras representa un desafío significativo para el diseño de infraestructuras y construcciones. Tradicionalmente, los factores de seguridad utilizados en ingeniería han sido establecidos con valores fijos, basados en promedios históricos y supuestos de estacionalidad climática. Sin embargo, este método presenta limitaciones frente a la creciente variabilidad e intensidad de fenómenos extremos como olas de calor y precipitaciones intensas, que alteran las condiciones ambientales de distintas zonas climáticas. Esto podría no representar mayores impactos en países que poseen una distribución geográfica horizontal, pero en países como Chile cuya disposición es vertical y con la existencia de distintos tipos de clima, lo correcto es realizar estudios según la zona de emplazamiento.

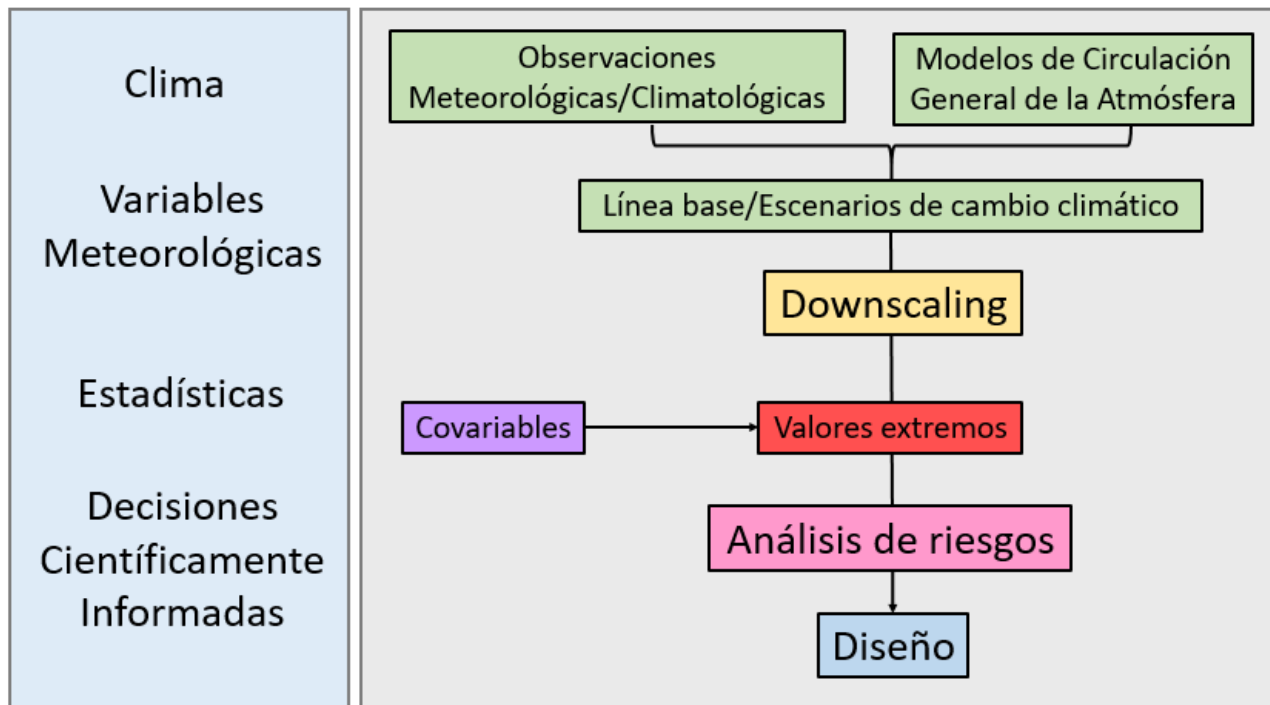
La dependencia de factores fijos no permite incorporar adecuadamente los cambios proyectados ni las incertidumbres asociadas a las predicciones climáticas. Esto puede conducir a diseños que subestimen los riesgos, comprometiendo la seguridad y la funcionalidad de las obras en el largo plazo. Por esta razón, es necesario desarrollar una metodología que permita calcular factores de seguridad dinámicos y adaptables, fundamentados en análisis probabilísticos y en el monitoreo constante de datos climáticos actualizados.

Realizando una revisión bibliográfica, es posible aplicar un enfoque específico para diseñar infraestructura mediante:

- Caracterizar la incertidumbre que rodea la vida útil del proyecto.
- Identificar el impacto y la importancia relativa en la seguridad del diseño.
- Cuantificar las implicaciones de las incertidumbres visualizadas.
- Determinar el factor de seguridad requerido en el diseño.

Por ejemplo, al diseñar sistemas de evacuación de aguas pluviales, es posible determinar el diámetro óptimo de las tuberías en función de las proyecciones de precipitaciones extremas, lo que permite gestionar eficientemente la escorrentía superficial y prolongar la vida útil de la infraestructura. De igual manera, en el ámbito de la climatización, la adecuada dimensionado de equipos de aire acondicionado, basada en análisis detallados de las temperaturas proyectadas, garantiza el confort de los usuarios, como en el caso de aeropuertos o edificaciones críticas. Estas decisiones, ilustradas en la Figura 12-3, demuestran la importancia de incorporar criterios científicos y datos climáticos en el proceso de diseño, asegurando construcciones resilientes frente a los retos del cambio climático.

Figura 12-3: Esquema simplificado del uso de datos meteorológicos para generar un diseño basado en decisiones científicamente informadas



Fuente: Elaboración propia

La Figura 12-3, desde un punto de vista estrictamente meteorológico, nos indica que antes de iniciar la construcción de cualquier proyecto, es necesario y fundamental realizar una investigación meteorológica profunda. El objetivo es conocer adecuadamente las condiciones meteorológicas históricas y los eventos extremos del área donde se materializaría el proyecto, para tomar las decisiones más adecuadas en el diseño y planificación, lo que permitirá evitar posibles complicaciones y mejorar la adaptación a futuro de la infraestructura.

Para generar este análisis se deben utilizar las bases de datos generadas por las instituciones públicas y privadas ligadas a los servicios meteorológicos. También consultar las bases de datos grilladas nacionales e internacionales para obtener datos precisos y actualizados en lugares donde no hay información medida. Adicionalmente, las fuentes grilladas nos entregan información de los escenarios de cambio climático para contar con datos a futuro.

Junto a lo anterior se deben identificar los patrones estacionales y factores de riesgo que puedan influir a futuro cuando la infraestructura se encuentre construida. En este sentido, la información grillada nos permite estimar para los escenarios de cambio climático un historial climatológico a futuro.

Los valores extremos meteorológicos, como precipitación máxima en 24 horas, temperaturas extremas (Mínimas y Máximas), Olas de calor, nevazones y vientos, deben ser caracterizados adecuadamente a partir de los datos medidos o de modelos estadísticos que nos permitan obtener, además, probabilidades de ocurrencia de estos eventos.

12.3 FACTORES CLIMÁTICOS AFECTADOS

Para estimar adecuadamente el dimensionado de las instalaciones asociadas con los eventos meteorológicos, es necesario conocer cuánto cambiará el clima a futuro. En efecto, los factores de seguridad actualizados actualmente se encuentran basados en una fuerte base estadística, sin embargo, a futuro no conocemos con certeza como se modificarían, por lo tanto, podemos realizar hipótesis como que los factores de seguridad cambiarían en el mismo orden de magnitud porcentual que los cambios que se producirían en las variables climatológicas. Una primera aproximación se basa en el supuesto de que los valores actuales de los factores de seguridad se suelen estimar considerando el registro meteorológico histórico medido y

suponer que las propiedades estadísticas de los valores extremos no cambian significativamente durante la vida útil de la infraestructura construida. Esta premisa, a pesar de ser válida en cuanto a su concepción, se basa en el hecho de que en la vida útil (Aproximadamente 30 años) el clima permanece estacionario, sin embargo, los escenarios simulados de cambio climático nos indican que hay que considerar estas variaciones. En efecto la Figura 12-3 nos indica que los cambios en el clima se pueden estimar a partir de las observaciones climatológicas actuales y los escenarios climáticos futuros basados en modelos de circulación general de la atmósfera. Por ejemplo, si consideramos los valores climatológicos de una variable para la línea base (LB) actual $Y_{LB}(j)$ donde j corresponde al mes del año, y los valores futuros para un escenario climático ECx para un período x (2030, 2040, 2050, 2060, 2070, 2080 y 2100) denominado $Y_{ECx}(j)$, entonces el cambio sería

$$\Delta(j) = Y_{ECx}(i) - Y_{LB}(i) \quad (21)$$

O expresado porcentualmente como

$$\Delta(j) = 100 \left[\frac{Y_{ECx}(i) - Y_{LB}(i)}{Y_{LB}(i)} \right] \quad (22)$$

$$\Delta\%(j) = 100 \left[\frac{Y_{ECx}(i)}{Y_{LB}(i)} - 1 \right] \quad (23)$$

De esta forma los factores de seguridad actuales (F_{sa}) se verán modificados de acuerdo con los factores modificadores del clima dados por las ecuaciones 22 y 23, de acuerdo con las ecuaciones 24 y 25.

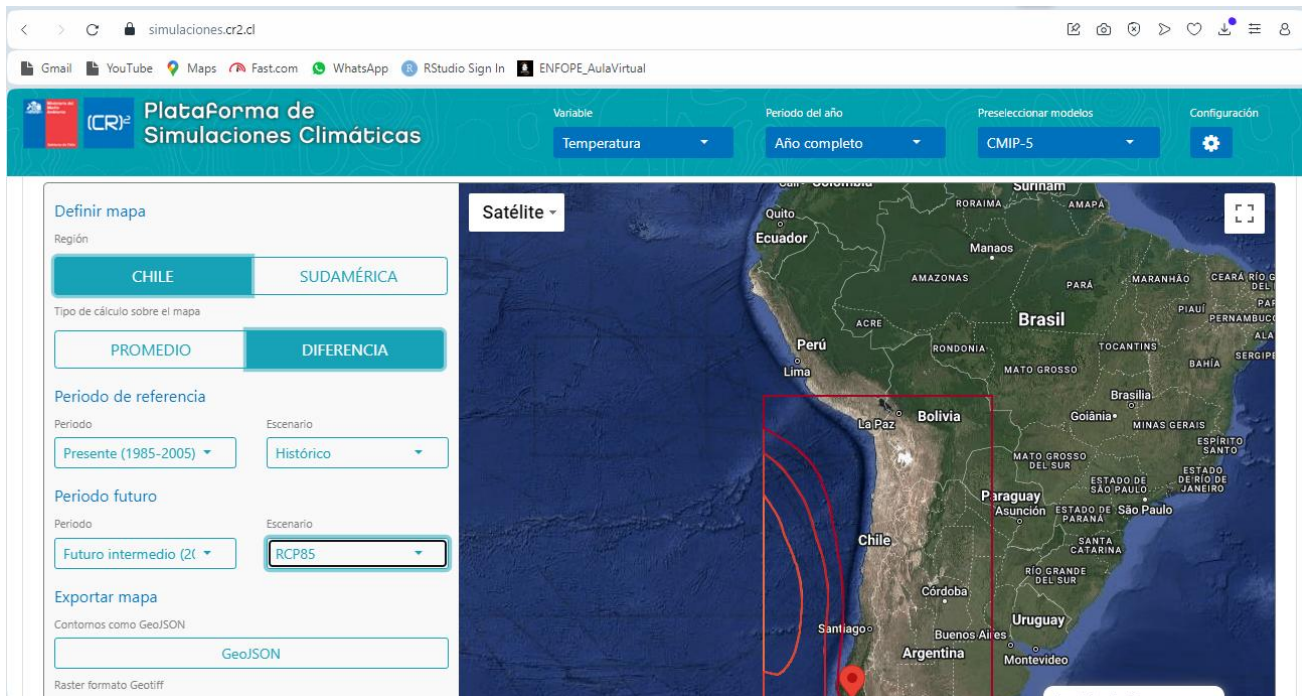
$$F_{sax} = F_{sa} [1 + \Delta(j)] \quad (24)$$

$$F_{sax} = F_{sa} \left[1 + \frac{\Delta\%(j)}{100} \right] \quad (25)$$

Donde el factor de seguridad se podría ver incrementado o disminuido según sea el caso asociado con la variable climatológica. La literatura científica muestra muchas bases de datos públicas de donde podemos calcular estos factores, como WORLDCLIM, CHELSA, TERRACLIMATE y CCAFS, las cuales han sido usadas con éxito gracias a su alta resolución espacial y ya discutidas en este informe. Esta información es de naturaleza grillada, es decir, cada variable se encuentra contenida en una matriz, o arreglo de filas y columnas, donde cada elemento de la matriz posee una coordenada geográfica la cual puede ser consultada fácilmente con algún sistema de información geográfica, tanto de uso libre como de pago. Los diseñadores pueden obtener esta información desde las bases de datos espaciales mencionadas o también podría solicitar esta información procesada a una consultora de Simulaciones climáticas.

Uno de los enfoques para conocer los cambios probables que se producirán en el clima es la utilización de simulaciones climáticas que se encuentran disponibles en servidores como la Plataforma de Simulaciones Climáticas del CR2 de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile (<https://simulaciones.cr2.cl>). En esta plataforma es posible acceder al cambio del valor medio de una variable climatológica entre el presente o línea base (1985-2005) y el futuro cercano (2030, 2050, 2060 y 2080), considerando el escenario Histórico y los escenarios climáticos futuros RCP26 y RCP85, respectivamente (Ver Figura 12-4).

Figura 12-4: Pagina web de las simulaciones climáticas del CR2 de la Universidad de Chile



En esta plataforma es posible consultar datos de variables climatológicas como: Temperatura media, Temperatura máxima, Temperatura mínima, Precipitación, Precipitación convectiva, Velocidad meridional, Velocidad zonal, Presión atmosférica en superficie, Presión media a nivel del mar, Humedad relativa, Radiación de superficie incidente y emergente de onda larga, Radiación de superficie incidente y emergente de onda corta, Radiación emergente de onda larga en el TOA (Techo de la atmósfera), Nubosidad total y Evapotranspiración. También la información anterior puede ser obtenida para un año completo, las estaciones del año y también para valores medios mensuales.

La Figura 12-5 muestra un ejemplo de una consulta para una simulación climática para un punto cualquiera en el territorio nacional, donde se observan los valores actuales y los cambios en la variable temperatura para el escenario RCP85. Esta consulta genera una base de datos de 46 modelos distintos y su correspondiente cambio para los periodos 2030 y 2050 aproximadamente. Esta información nos permite estimar los factores modificadores debido al clima para conocer los valores de los factores de seguridad a futuro. Sin embargo, cuando se desee un análisis más exhaustivo, es necesario estimar estos valores a partir de las bases de datos grilladas (WORLDCLIM, CHELSA, TERRACLIMATE y CCAFS) para un lugar específico en Chile (Zona y Comuna).

Figura 12-5: Ejemplo de una simulación climática para un punto cualquiera en el territorio nacional, donde se observan los cambios en la variable temperatura para el escenario RCP85

Nombre	Unidad	Intervalo	Variable			Ubicación	Escenarios	Modelos		
			Estación del año	Normalización				Global	Regional	Local
Temperatura	°C	Promedio anual	Año completo	Sesgo [Sin modelo de referencia]		[38.61°S,72.25°O]	Histórico,RCP26,RCP85	45	0	0

Resumen de temperatura anual (°C)

Copy
CSV
Excel

Buscar

Modelo	Tipo	Presente (1985-2005)		Futuro cercano (2020-2044)		Futuro intermedio (2045-2069)	
		Histórico		RCP26	RCP85	RCP26	RCP85
		-0.02 (±0.01)		0.57 (±0.08)	0.76 (±0.07)	0.73 (±0.09)	1.63 (±0.10)
MIROC4h	global	0.0					
ACCESS1-0	global	0.0			0.7		1.6
ACCESS1-3	global	0.0			0.6		1.4
CESM1-CAM5-1-FV2	global	0.0			0.7		1.8
FGOALS-g2	global	0.0		0.2	0.7	0.4	1.2
MIROC5	global	0.0		0.4	0.7	0.5	1.3

Fuente: simulaciones.cr2.cl

12.3.1.1 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA CERTIFICACIÓN EN LA DIMENSIÓN SOCIAL

Producto del análisis, se reconoce que la certificación sustentable de edificaciones aeroportuarias debe trascender los aspectos ambientales y económicos, abarcando también la dimensión social. En consecuencia, se busca complementar las iniciativas propuestas en el desarrollo de la certificación sustentable de edificaciones aeroportuarias, por lo que se plantea un requerimiento obligatorio, en el que todo proyecto que incluya una terminal de pasajeros aeroportuario de cualquier escala se consideren aspectos sociales del proyecto, realizando un estudio de impacto en la dimensión social del proyecto.

Por lo tanto, esta propuesta de requerimiento tiene por objeto establecer un nuevo requisito de certificación para edificaciones aeroportuarias, poniendo énfasis en la dimensión social en los distintos ciclos de vida de un proyecto; Plan Maestro, Diseño, Construcción y Operación de estas infraestructuras. Así, este requisito complementará los estándares existentes, incorporando una perspectiva social integral, promoviendo un entorno y ambiente internos aeroportuario más humano, inclusivo y sostenible para todas las personas involucradas, desde los trabajadores hasta los usuarios finales.

A continuación, se presenta un cuadro sobre los aspectos y/o requerimientos propuestos para la dimensión social, respecto de sus exigencias reglamentación existente en legislación chilena y la política MOP en cada uno de los ítems indicados.

Tabla 12-1: Cuadro sobre normativa chilena y política MOP respecto de los aspectos propuestos para ser evaluados.

Aspectos de Dimensión Social		Legislación Chilena	Política MOP
Participación Ciudadana	Participación de comunidades en mecanismos de consulta y diálogo para identificar mitigación de impactos.	Art. 11 y 12 Ley 20.417, DS 40	Guía de Participación Ciudadana MOP, Política ambiental y Territorial participativa del MOP y MTT
Equidad e Inclusión	Diversidad en la fuerza laboral, accesibilidad universal, acción afirmativa	Convenio 100, 111 y 169 OIT, Guía de enfoque de género en la edificación pública, DS N° 50 N° 20.422	Política Ministerial de Género y Diversidad MOP (2024-2030)
Impactos Socioeconómicos	Empleabilidad local, desarrollo económico, turismo	Art. 9 Ley 20.417	No especifica sobre estudios de impacto socioeconómico

Aspectos de Dimensión Social		Legislación Chilena	Política MOP
Impactos Ambientales	Ruido, contaminación, calidad del aire y agua	Art. 9 Ley 20.417, DS 40	Guía de Participación Ciudadana MOP, Política ambiental y Territorial participativa del MOP y MTT, Política de sustentabilidad ambiental MOP
Impactos Culturales y Patrimoniales	Valoración del patrimonio cultural, turismo cultural	Ley 17.288	Política de sustentabilidad ambiental MOP
Bienestar y Salud	Calidad de vida, salud pública, seguridad	DS 594, Ley 16.744	Normas de diseño y construcción de espacios públicos, Bases de Prevención de riesgos para contratos de obras MOP con perspectiva de género

Fuente: Elaboración propia

12.3.1.1.1 BENEFICIOS DE LA CERTIFICACIÓN EN VARIABLE SOCIAL

- Mejora de la reputación: Posicionamiento como un proyecto comprometido con la sostenibilidad social.
- Mayor aceptación social: Fortalecimiento de las relaciones con los entornos cercanos, comunidades locales y usuarias.
- Fortalecimiento del tejido social: Mejora de la calidad de vida y relaciones de y entre las comunidades aledañas.
- Atracción de inversiones: Demostración de un compromiso con prácticas responsables y sostenibles.
- Aumento satisfacción de los usuarios: Creación de una experiencia y ambiente más acogedor, agradable y accesible para todos los pasajeros.
- Contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Alineación con los ODS y promoción de un futuro más sostenible.

Se propone un proceso de certificación que incluya las siguientes etapas:

- Autoevaluación: El promotor (responsable principal del proyecto) del proyecto realizará una autoevaluación inicial utilizando una herramienta específica diseñada para este requisito.
- Verificación: Un tercero independiente verificará el cumplimiento de los requisitos a través de inspecciones in situ y revisión documental.
- Certificación: Se otorgará la certificación a los proyectos que cumplan con todos los requisitos establecidos.

12.3.1.1.2 CONSIDERACIONES ADICIONALES

- Flexibilidad: Se recomienda establecer criterios de evaluación flexibles para adaptarse a las particularidades de cada proyecto y a las condiciones locales.
- Monitoreo y evaluación: Es fundamental establecer un sistema de monitoreo y evaluación para verificar el cumplimiento continuo de los requisitos y medir el impacto social del proyecto.
- Colaboración con actores clave: Se sugiere establecer alianzas con actores clave como gobiernos locales, organizaciones de la sociedad civil y comunidades indígenas para garantizar una implementación exitosa del requisito.
- Diálogo continuo con las comunidades: Realizar consultas públicas, talleres participativos y reuniones periódicas para mantener informadas a las comunidades y obtener sus aportes.
- Transparencia y rendición de cuentas: Informar de manera transparente a las partes interesadas sobre los avances y resultados del proyecto.

La inclusión de un criterio de certificación enfocado en la dimensión social representa un paso significativo hacia el diseño y la construcción de aeropuertos más justos, equitativos y sostenibles. Al integrar aspectos sociales, se pueden generar

beneficios a largo plazo para las comunidades locales y para el sector aeroportuario en su conjunto. En efecto, la incorporación de este nuevo criterio de certificación permitirá elevar los estándares de sostenibilidad en la industria aeroportuaria, promoviendo la construcción de infraestructuras que sean más justas, equitativas y beneficiosas para todos.

13 ANEXO 4: PROPUESTA PARA DIAGNÓSTICOS DE CERTIFICACIÓN CON ENFOQUE EN LA DIMENSIÓN SOCIAL

Se realiza una propuesta de guía aplicable a diagnósticos/estudios para certificación de proyectos con un enfoque particular en la dimensión social en el desarrollo de toda infraestructura aeroportuaria que sea evaluada con la certificación, como así también para toda aquella infraestructura que se remodele y/o normalice. La finalidad de esta propuesta es proporcionar una metodología práctica que sugiere la aplicación de diferentes herramientas cuantitativas y cualitativas, facilitando así la recolección información para la gestión efectiva en la evaluación de cumplimientos de requerimientos en ámbitos sociales vinculados a iniciativas de este tipo de proyectos.

Es importante tener en consideración la relevancia de garantizar la representatividad de la muestra de actores clave, incluyendo a representantes de diferentes regiones del país y de distintos sectores sociales. De igual modo, se recomienda utilizar una combinación de instrumentos de consulta para obtener una visión más completa y profunda de las perspectivas de los actores clave. Finalmente, se sugiere que los resultados de la consulta y/o evaluaciones puedan ser difundidos de manera transparente y accesible para todos los interesados y consultados, incluyendo a la comunidad aeroportuaria, autoridades gubernamentales y público en general.

13.1 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES CLAVES

Es muy importante identificar adecuadamente a los actores que serán consultados y resultarán clave para un adecuado diagnóstico y buen resultado del estudio.

- **Análisis de Stakeholders:** Realizar un análisis de *stakeholders* para identificar a los actores clave en función de su poder y legitimidad con relación a la infraestructura aeroportuaria y sus certificaciones. Como así también a dirigentes sociales que hayan participado y/o influenciado en algún proyecto tanto de diseño, construcción u operación de infraestructura aeroportuaria. Esto nos permitirá priorizar a aquellos actores con mayor influencia y relevancia en el tema.
- **Revisión Documental:** Revisión de documentos oficiales, informes de organizaciones, estudios académicos y noticias relacionadas con la infraestructura aeroportuaria en Chile, para identificar organizaciones y personas que hayan participado en proyectos o debates sobre infraestructura aeroportuaria.
- **Elaboración de un listado preliminar:** Crear un listado inicial de actores clave, incluyendo organizaciones gubernamentales (ministerios, agencias reguladoras, gobiernos locales), empresas privadas (aerolíneas, constructoras, operadores aeroportuarios), organizaciones de la sociedad civil (ONGs, asociaciones comunitarias), instituciones académicas y expertos independientes.
- **Validación del listado:** Consultar a expertos en el tema y realizar una revisión de pares para validar y ajustar el listado preliminar.

13.2 CONSULTA A ACTORES CLAVES

Entrevistas en Profundidad: Diseñar guías de entrevista con preguntas abiertas para profundizar en las perspectivas y experiencias de los actores clave. Estas entrevistas deben realizarse en profundidad con una muestra representativa de actores clave seleccionados en la etapa anterior. Estas entrevistas permitirán obtener información detallada sobre sus perspectivas, experiencias y propuestas en relación con la sustentabilidad, inclusión social y participación ciudadana en la infraestructura aeroportuaria.

Grupos Focales: Organizar sesiones de discusión con grupos de actores clave para fomentar el intercambio de ideas y opiniones sobre los temas relevantes. El objetivo es que estos grupos focales con actores clave compartan intereses o

perspectivas similares. Esto permitirá generar un diálogo abierto y participativo, facilitando la identificación de consensos y puntos de divergencia.

Cuestionarios: Elaborar cuestionarios estructurados con preguntas abiertas y cerradas, enfocadas en los aspectos relevantes de la sustentabilidad, inclusión social y participación ciudadana en la infraestructura aeroportuaria. Estas encuestas se pueden aplicar de manera online a un grupo más amplio de actores clave para obtener datos cuantitativos sobre la importancia relativa de diferentes aspectos de la sustentabilidad, inclusión social y participación ciudadana en la infraestructura aeroportuaria.

13.3 SELECCIÓN DE MUESTRA Y RECOLECCIÓN DE DATOS

Al combinar instrumentos cualitativos y cuantitativos, es importante poder realizar una muestra bien seleccionada que permita reflejar las características relevantes de la población a quien se busca consultar y validar la información levantada. Esta debe ser confiable y permitir profundizar los resultados. En lo cualitativo, la muestra debe incluir participantes que representen la diversidad de perspectivas y experiencias relevantes para el tema de estudio. Esto permite comprender en profundidad los significados y motivaciones subyacentes a los fenómenos sociales. En cuanto lo cuantitativo, la muestra debe ser lo suficientemente grande y representativa para permitir la generalización de los resultados a la población más amplia. Esto proporcionará una base sólida para validar y complementar los hallazgos cualitativos.

13.4 SELECCIÓN DE MUESTRA

- Representatividad estadística (Cuantitativo): La muestra debe ser lo suficientemente grande y aleatoria para permitir la generalización de los resultados a la población más amplia. Esto asegurará que los hallazgos cuantitativos sean válidos y confiables.
- Diversidad de perspectivas (Cualitativo): La muestra debe incluir participantes que representen la variedad de experiencias, opiniones y contextos relevantes para lo que se está estudiando/investigando. Esto permitirá una comprensión profunda y contextualizada de los resultados cuantitativos.

13.5 RECOLECCIÓN DE DATOS

- Métodos cuantitativos: Encuestas, cuestionarios, análisis de datos secundarios, entre otros. Esto permitirá medir y cuantificar variables, establecer relaciones causales y generalizar los resultados. Estos datos proporcionarán una base sólida para validar y complementar los hallazgos cualitativos.
- Métodos cualitativos: Entrevistas, grupos focales, observación participante, entre otros., Permitiendo explorar en profundidad las experiencias, significados y motivaciones de los participantes. Estos datos enriquecerán la interpretación de los resultados cuantitativos.

13.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El análisis e interpretación de datos es una etapa fundamental para lograr una comprensión general y profunda de los aspectos sociales relevantes en el diseño, construcción y operación de infraestructura aeroportuaria, que actores claves en el ámbito de la sustentabilidad, inclusión social y/o participación ciudadana, sugieren considerar. Este proceso permite integrar los resultados obtenidos a través de diferentes métodos, generando conocimientos más ricos y complejos que los que se obtendrían con un enfoque único.

- Análisis de Contenido: Se propone la utilización de técnicas de análisis de contenido para identificar los temas recurrentes, las principales preocupaciones y las propuestas más relevantes que surjan de las entrevistas, grupos focales y encuestas. Analizar los datos recopilados para identificar los aspectos más relevantes de la sustentabilidad, inclusión social y participación ciudadana en la infraestructura aeroportuaria, según las perspectivas de los actores clave.
- Triangulación de Datos: Se deberá combinar los resultados de las diferentes técnicas de consulta y análisis. Porque el análisis conjunto de datos cualitativos y cuantitativos permitirá triangular los resultados, es decir,

verificar la consistencia y coherencia de la información obtenida a través de diferentes métodos. Se deberá interpretar los datos para responder las preguntas de investigación.

Un ejemplo de la metodología se puede observar en el Anexo 5 de la subetapa 9.3.

Para validar el cumplimiento de este requerimiento se debe desarrollar un informe que indique todos los aspectos de dimensión social estudiados y que evidencie todas las instancias de participación ciudadana realizadas.