



Consideraciones para la formulación de medidas ambientales eficaces en proyectos de la cadena de valor del hidrógeno verde

Edición:
Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:
Team Europe Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2)

Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:
George Cristodorescu

En coordinación:
Ministerio de Energía de Chile
Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II
Santiago de Chile
T +56 22 367 3000
I www.energia.gob.cl

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción:
ISBN: 978-956-8066-79-6. Primera edición digital, diciembre 2025

Ilustración a partir de © Shutterstock.com

Cita:

Título: Consideraciones para la formulación de medidas ambientales eficaces en proyectos de la cadena de valor del hidrógeno

Autor(es): GIZ, Sociedad de Asesorías Ambientales Enviro Ltda.

Revisión y modificación: GIZ, Ministerio de Energía, Superintendencia del Medio Ambiente, Servicio de Evaluación Ambiental., Enviro (Javiera Inostroza, Boris Cerda, Maximiliano Molina e Ignacio Carrasco).

Edición: Sandra Pérez V.

Santiago de Chile, 2025

133 Páginas
Hidrógeno Verde – Medidas Eficaces – Evaluación Ambiental – Sistematización de datos



Aclaración:

Esta publicación ha sido preparada por encargo del Proyecto "Team Europe para el Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile", el cual es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y Energía (BMWE). La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH es una de las agencias implementadoras de la presente iniciativa y el Ministerio de Energía de Chile es la institución contraparte. Sin perjuicio de lo anterior, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWE. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile, GIZ, la Unión Europea o el BMWE.

Santiago de Chile, diciembre de 2025.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio “Consideraciones para la formulación de medidas ambientales eficaces en proyectos de la cadena de valor del hidrógeno”, fue desarrollado en el contexto del proyecto Team Europe: Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2), implementado por GIZ en coordinación con el Ministerio de Energía, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).

El estudio tiene por objetivo consolidar y conocer experiencias de medidas y compromisos ambientales eficaces aplicables a proyectos de la cadena de valor del hidrógeno verde (H₂V), en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), considerando los elementos técnicos y de gestión que inciden en su seguimiento y fiscalización.

La metodología desarrollada comprendió una etapa inicial de sistematización automatizada y revisión manual de medidas ambientales contenidas en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de 490 proyectos vinculados a las distintas etapas de la cadena de valor del hidrógeno verde. Este proceso permitió depurar y estructurar una base de datos de 2.749 medidas, clasificadas por tipo (mitigación, reparación, compensación, compromiso ambiental voluntario), componente ambiental afectado, impacto asociado, objetivo y oportunidad de implementación.

Posteriormente, se estableció una categorización y subcategorización temática de las medidas para facilitar su análisis comparativo y se definieron criterios de selección orientados a determinar su potencial eficacia. Entre estos criterios se consideraron la temporalidad de implementación (año), la inexistencia de procesos sancionatorios o revisiones judiciales, la disponibilidad de informes de seguimiento y la capacidad de generar cambios verificables en la variable ambiental objeto.

A partir de la base sistematizada y los criterios definidos, se desarrolló un proceso participativo de validación técnica con los Organismos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA), mediante dos jornadas de trabajo. La primera de ellas permitió revisar y discutir los criterios de selección, mientras que la segunda, de carácter presencial, aplicó una metodología participativa, estructurada en cuatro pasos: priorización de impactos ambientales, selección y discusión de medidas por impacto, priorización según eficacia percibida y caracterización de atributos técnicos y de seguimiento.

El análisis colaborativo permitió revisar, contrastar y ajustar las medidas tipo (genéricas), representativas de cada componente ambiental, integrando observaciones técnicas y experiencia sectorial. Como resultado, se identificaron y caracterizaron diecinueve (19) medidas eficaces tipo, estructuradas según componente e impacto ambiental, cada una acompañada de su objetivo, descripción general, indicadores y medios de verificación que permiten evaluar su cumplimiento y efectividad.

El proceso completo permitió reconocer patrones comunes en la formulación de medidas ambientales, identificar brechas en su diseño y seguimiento, y proponer lineamientos para orientar la definición de medidas más claras, trazables y evaluables dentro del SEIA. La metodología aplicada evidencia el valor de la sistematización masiva y la validación interinstitucional como herramientas claves para fortalecer la gestión ambiental, elevar la calidad de los procesos de evaluación y potenciar la efectividad de las medidas implementadas en el desarrollo de proyectos vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde en Chile.

Contenidos

RESUMEN EJECUTIVO	3
Índice de figuras	5
Abreviatura y glosario	6
1 Introducción	7
2 Objetivo del Estudio	8
2.1 Objetivo General (OG)	8
2.2 Objetivos Específicos (OE)	8
3 Marco Conceptual	8
3.1 Sobre los proyectos de hidrógeno verde	8
3.1.1 Etapa 1. (Proceso 1) Generación de Energía Renovable (Contribución energética para producción de H₂V)	9
3.1.2 Etapa 2. (Proceso 2) Producción de Hidrógeno (Electrólisis u otras tecnologías limpias)....	9
3.1.3 Etapa 3. (Proceso 3) Acondicionamiento y Almacenamiento	9
3.1.4 Etapa 4. (Proceso 4) Transformación Química o Reconversión	9
3.1.5 Etapa 5. (Proceso 5) Transporte y Distribución	10
3.2 Medidas ambientales y eficacia en la evaluación ambiental	10
4 Metodología	13
4.1 Criterios para selección de proyectos a sistematizar	13
4.1.1 Criterio 1: Proyecto que haya iniciado su ejecución	14
4.1.2 Criterio 2: Proyectos que presentan al menos un informe de seguimiento ambiental	14
4.1.3 Criterio 3: Proyectos que han informado a la autoridad eléctrica su inicio	14
4.1.4 Pertinencia del proyecto con la cadena de valor del Hidrógeno verde	14
4.1.5 Propuesta de selección de proyectos a sistematizar	16
4.1.6 Síntesis propuesta metodológica	18
4.2 Metodología de sistematización	19
4.2.1 Medidas ambientales	19
4.2.2 Sistematización de las medidas ambientales	19
Para extraer la información de las medidas ambientales desde los documentos RCA, primero se revisó la estructura de las secciones de las RCA donde se presentan medidas como CAV y aquellas asociadas al plan de medidas de mitigación, reparación y compensación, con el fin de detectar sus patrones de similitud, tanto en la ubicación de las medidas dentro del documento como en la forma de presentación (tablas).	19
A partir de ello, se generaron códigos en Python que permitieron la detección de tablas y extracción automática de textos a partir de dichos patrones, utilizando la herramienta PDFPlumber. Por tanto, la estructura base detectada son tablas con el nombre de la medida en la primera fila de cada tabla y el detalle de campos de información y su contenido en el resto de las filas. De esta forma, el código desarrollado cuenta con la siguiente estructura:	19
4.3 Sobre la organización de la información para su análisis	20
4.4 Metodología de Talleres de Trabajo con OAECA	24
4.4.1 Taller 1 (04/09/2025) – Trabajo preliminar de análisis de medidas	25
4.4.2 Ajustes metodológicos entre talleres	26
4.4.3 Taller 2 (10/09/2025) – Priorización y caracterización de medidas	27
4.5 Selección de medidas según el impacto ambiental	28
5 Resultados	34
5.1 Resultados de la sistematización	34
5.2 Resultado del taller 1 - (04/09/2025)	39
5.3 Resultado del taller 2 - (10/09/25)	39
6 Discusión	44
6.1 Limitantes detectadas	44
6.1.1 Evolución de la estructura de las RCA y medidas	44
6.1.2 Problemáticas detectadas en la sistematización	44
6.1.3 Problemáticas Detectadas en la Categorización de la Sistematización	45
6.1.4 Concepto de medida ambiental	45
6.1.5 Diseño e implementación de las medidas	46
6.1.6 Seguimiento y fiscalización de las medidas	47
6.1.7 Replicabilidad de las medidas	47
7 Propuestas de medidas eficaces	48

8	Conclusión.....	71
9	Bibliografía	72
10	ANEXO	73
10.1	ANEXO 1. Metodología para extraer información de las RCA	73
10.1.1	Documentación técnica de los códigos desarrollados para la extracción de medidas desde documentos RCA (PDF)	73
10.2	Extracción de información respecto a medidas de control	76
10.3	ANEXO 2. Códigos y archivos auxiliares utilizados	78
10.4	ANEXO 3. Sistematización de RCA con medidas ambiental y CAV	79
10.5	ANEXO 4. Sistematización de Medidas de Control	80

Índice de tablas

Tabla 1	Clasificación de proyectos a sistematizar de la cadena de valor de H ₂ V	15
Tabla 2	Proyectos del presente estudio a sistematizar de la cadena de valor de H ₂ V.....	17
Tabla 3	Categorías y subcategorías de las medidas sistematizadas	21
Tabla 4	Distribución de las mesas de trabajo por categoría y subcategoría aplicable.....	25
Tabla 5	Distribución de las mesas de trabajo según categoría aplicable	27
Tabla 6	Nombre de medidas tipo según los impactos ambientales asociados, organizados por etapa de la cadena de valor del H ₂ V.....	29
Tabla 7	Total de documentos para los que fue posible extraer medidas de forma automatizada.....	34
Tabla 8	Cantidad de medidas sistematizadas según las Etapas de la Cadena de Valor de H ₂ V	35
Tabla 9	Cantidad de medidas según su subcategoría en proyectos de la Cadena de valor del H ₂ V.....	36
Tabla 10	Resultados del plenario del taller 10/09/2025	40
Tabla 11	Medida N°1 - Ecosistema terrestre y acuático - Enriquecimiento de hábitat.....	49
Tabla 12	Medida N°2 – Ecosistema Terrestre y Acuático – Creación de áreas de exclusión.....	51
Tabla 13	Medida N°3 – Flora y vegetación – Control de especies invasoras.....	52
Tabla 14	Medida N°4 - Flora y vegetación - Plantación por pérdida de cobertura vegetación (a nivel de individuos y a nivel de área o cobertura).....	53
Tabla 15	Medida N°5 - Fauna - Detención programada de aerogeneradores.....	55
Tabla 16	Medida N°6 - Recurso hídrico - Plan de Alerta Temprana (PAT).....	56
Tabla 17	Medida N°7 - Medio humano - Plan de Monitoreo Participativo y Gestión Socioambiental	57
Tabla 18	Medida N°8 - Aire - Pavimentación de caminos y medidas complementarias.....	59
Tabla 19	Medida N°9 - Aire - Plan Integral de Gestión de Emisiones Atmosféricas y Olores (PIGEAO)	60
Tabla 20	Medida N°10 - Ruido y vibraciones - Plan Integral de Gestión de Ruido y Vibraciones (PIGRV)	61
Tabla 21	Medida N°11 - Residuos - Innovación Tecnológica para la Gestión y Reducción de Residuos	62
Tabla 22	Medida N°12 - Patrimonio - Plan de hallazgos arqueológico/paleontológico	63
Tabla 23	Medida N°13 - Patrimonio - Medidas de protección patrimonial de sitios y/o hallazgos arqueológicos/paleontológicos	64
Tabla 24	Medida N°14 - Patrimonio - Puesta en Valor del Patrimonio Cultural	65
Tabla 25	Medida N°15 - Suelo - Flora y vegetación - Restauración de áreas intervenidas por el proyecto (obras temporales).....	66
Tabla 26	Medida N°16 - Suelo - Mejoramiento de capacidad de uso de suelo.....	67
Tabla 27	Medida N°17 - Suelo - Plan de control y/o prevención de proceso erosivo.....	68
Tabla 28	Medida N°18 - Paisaje - Programa de integración paisajística.....	69
Tabla 29	Medida N°19 - Turismo - Medidas de protección y fortalecimiento del valor turístico	70

Índice de figuras

Figura 1	Esquema de Cadena de Valor de H ₂ V	8
Figura 2	Conceptualización y relación entre las medidas e impactos ambientales de un proyecto o actividad en el marco del SEIA	12
Figura 3	Esquema de Síntesis Metodológica de la Sistematización de los Proyectos de la cadena de valor de H ₂ V	18

Abreviatura y glosario

CAV	Compromiso Ambiental Voluntario: Acción asumida facultativamente por los titulares en la evaluación ambiental. No forma parte del plan obligatorio de medidas del D.S. N°40/2012, sino que se incorpora como aporte adicional para reforzar el control de impactos no significativos o como acción complementaria (ej. reducción de GEI, control de residuos).
CNE	Comisión Nacional de Energía: Institución que recibe información de los titulares respecto al inicio de ejecución de proyectos energéticos, utilizada como insumo para verificar el estado de implementación
DIA	Declaración de Impacto Ambiental: Instrumento de evaluación ambiental más acotado, en el cual el titular declara que su proyecto no genera impactos significativos según los criterios del art. 11 de la Ley N°19.300.
EIA	Estudio de Impacto Ambiental: Evaluación ambiental más extensa y rigurosa, requerida cuando un proyecto genera impactos significativos, según lo definido en la LBGMA.
Eficacia de una medida ambiental	Se entiende como la capacidad de una medida para cumplir efectivamente con el objetivo ambiental para el cual fue diseñada. Requiere indicadores de cumplimiento, medios de verificación y un plan de seguimiento que constate resultados sobre la variable ambiental, no sólo la ejecución de actividades.
H2V	Hidrógeno Verde
ICE	Informe Consolidado de Evaluación
Impacto Ambiental	Alteración del medio ambiente provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada (Art. 2 letra e) del RSEIA).
LBGMA	Ley N°19300 que aprueba las Bases Generales del Medio Ambiente
Medidas de Compensación	Según el Art. N°100 del RSEIA, generan un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso que no es posible mitigar ni reparar. Ejemplo: sustitución de un recurso natural afectado por otro equivalente
Medidas de Mitigación	Según el Art. N°98 del RSEIA, buscan evitar o disminuir los efectos adversos que genera un proyecto, en cualquiera de sus fases.
Medidas de Reparación.	Según el Art. N°99 del RSEIA, buscan reponer uno o más componentes del medio ambiente a una calidad similar a la que tenían antes del impacto, o restablecer sus propiedades básicas
OAECA	Organismos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental
RCA	Resolución de Calificación Ambiental: Documento oficial que emite el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) al finalizar el proceso de evaluación. Define si un proyecto se aprueba y bajo qué condiciones ambientales debe ejecutarse.
RSEIA	Reglamento (D.S. N°40/2012 MMA)
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental: Institución estatal responsable de administrar el SEIA, unificar criterios técnicos y coordinar el proceso de evaluación ambiental en Chile.
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental: Mecanismo administrativo regulado por la Ley N°19.300 y el D.S. N°40/2012, a través del cual los proyectos o actividades se someten a evaluación para determinar sus impactos ambientales y establecer medidas de mitigación, reparación y compensación.
SMA	Superintendencia del Medio Ambiente: Órgano encargado de la fiscalización y del seguimiento del cumplimiento de las condiciones y medidas establecidas en las RCA. Administra plataformas como el SNIFA y el SSA
SNIFA	Sistema Nacional de Fiscalización Ambiental: Plataforma de la SMA que centraliza los informes de seguimiento ambiental, fiscalización y cumplimiento de las RCA.
SSA	Sistema de Seguimiento Ambiental: Subsistema administrado por la SMA que recopila los informes de seguimiento entregados por los titulares para verificar el cumplimiento de medidas ambientales.

1 Introducción

Chile ha definido al hidrógeno verde (H_2V) como un vector estratégico para la transición energética y la descarbonización de la matriz energética del país, consolidando su promoción mediante el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030 del Ministerio de Energía. Dicho plan establece una hoja de ruta orientada al desarrollo sostenible de esta industria bajo criterios de participación social, resguardo ambiental y seguridad energética.

Por su parte, uno de los instrumentos de gestión ambiental de mayor relevancia para el desarrollo de proyectos es el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), de carácter preventivo y regulado por la Ley N°19300 que aprueba las Bases Generales del Medio Ambiente (LBGMA), además en su respectivo Reglamento (D.S. N°40/2012 MMA - RSEIA), se establecen las características de los proyectos que deben someterse obligatoriamente al SEIA según lo estipulado en los Art. N°10 de la LBGMA y Art. N°3 del RSEIA así como también las modificaciones de proyecto que sean de consideración, según lo establecido en el art. 2 literal g) del RSEIA.

En este marco, para poder operar, los proyectos asociados a la cadena de valor del H_2V , - desde la generación de energía renovable hasta la transformación, almacenamiento, transporte y uso de derivados - deben someterse al SEIA si los proyectos o actividades de causar impacto ambiental se encuentran en el listado del artículo N°10 de la Ley N°19.300 y detallados en el artículo N°3 del Reglamento del SEIA, o si corresponden a modificaciones de consideración de estos proyectos, y abordar los impactos ambientales que generen sus diferentes partes, obras y acciones. Este proceso apunta a obtener una RCA que permita la ejecución del proyecto o actividad, y que considera, entre otras materias, las medidas de mitigación, reparación y compensación necesarias para hacerse cargo de sus impactos significativos, cuando corresponda; los compromisos ambientales voluntarios, que buscan abordar los impactos no significativos y las mediciones, análisis y demás antecedentes que los titulares deberán proporcionar para el seguimiento y fiscalización permanente del cumplimiento de las normas, condiciones y medidas del proyecto.

Si bien el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y los diferentes Organismos de la Administración del Estado con Competencia Ambiental (OAECA) han trabajado a lo largo de los años en diferentes circulares, manuales, guías, criterios y procedimientos para la evaluación y el seguimiento ambiental la atribución de uniformar criterios corresponde exclusivamente del SEA, de acuerdo con el artículo 81, letra d), de la Ley N°19.300. En este marco, destacan las recientes publicaciones del SEA en materia de hidrógeno verde: el documento técnico *“Criterio de evaluación en el SEIA: Introducción a proyectos de Hidrógeno Verde (2022)”* y el documento técnico *“Criterio de evaluación en el SEIA: Descripción integrada de proyectos para la generación de Hidrógeno Verde en el SEIA (2023)”*. Uno de los desafíos actuales es verificar que la predicción realizada durante la evaluación ambiental se cumpla y, en consecuencia, saber si las medidas propuestas han cumplido con el objetivo esperado, en especial en proyectos de una industria nueva como lo es la del H_2V .

Un antecedente relevante en esta línea, son los resultados del Concurso “Medidas destacadas en el SEIA”, organizado por el SEA el año 2013, en el cual se identificaron y sistematizaron 22 medidas, seleccionadas bajo criterios técnicos y con la participación de un comité ciudadano integrado por miembros de la academia, ONG, medios especializados y sociedad civil. Dicha experiencia constituye un referente de interés para fines de este Estudio, el que se enfocará en los nuevos desafíos que plantean los proyectos vinculados al hidrógeno verde y sus derivados.

Así, el presente estudio se desarrolla con el objetivo general de consolidar y conocer experiencias de medidas y compromisos ambientales voluntarios eficaces para abordar los impactos ambientales generados por los proyectos asociados a la cadena de valor del H_2V en el marco del SEIA. Para ello, se utiliza una metodología basada en la sistematización automatizada de RCA, mediante códigos de extracción de datos, complementada con revisión manual, asignación de categorías para facilitar el análisis masivo, como validación y aportes de expertos a través de talleres participativos con OAECA.

En síntesis, este trabajo busca, con base en la experiencia acumulada por la institucionalidad ambiental chilena y en la colaboración de los OAECA, identificar y describir medidas ambientales eficaces que permitan mejorar la gestión de los impactos asociados a la cadena de valor del hidrógeno verde, lo cual puede ser replicable para otros tipos de proyectos, lo que aporta en lineamientos técnicos y prácticos que fortalezcan la evaluación y fiscalización ambiental en el país.

2 Objetivo del Estudio

2.1 Objetivo General (OG)

Consolidar y conocer experiencias de medidas y/o compromisos ambientales eficaces requeridas para gestión ambiental de proyectos de la cadena de valor del hidrógeno verde en el marco del SEIA y considerando los informes de seguimiento cargados al Sistema de Seguimiento Ambiental (SSA).

2.2 Objetivos Específicos (OE)

- Objetivo específico (OE1): Realizar un catastro y sistematización de medidas ambientales de proyectos de la cadena de valor del hidrógeno verde ingresados al SEIA con posterioridad a la vigencia del D.S N°40/2012.
- Objetivo específico (OE2): Identificar y caracterizar 20 medidas eficaces para abordar los impactos ambientales de proyectos de la cadena de valor del Hidrógeno verde.

3 Marco Conceptual

3.1 Sobre los proyectos de hidrógeno verde

Según lo señalado en el “*Criterio de Evaluación en el SEIA: Descripción integrada de proyectos para la generación de hidrógeno verde en el SEIA (SEA, 2023)*”, la cadena de valor del hidrógeno verde comprende el conjunto articulado de actividades productivas, logísticas y ambientales necesarias para la generación, producción, acondicionamiento, almacenamiento, transformación, distribución y uso final del hidrógeno generado a partir de energías renovables no convencionales (ERNC), así como de sus derivados, tales como amoníaco, metanol, combustibles sintéticos y carriers líquidos o gaseosos. Cada etapa se caracteriza por requerimientos técnicos específicos y puede implicar impactos ambientales significativos que deben ser evaluados conforme al RSEIA.

Lo anterior, es posible de representar en el siguiente diagrama de la cadena de valor del Hidrógeno Verde (H₂V).

Figura 1 Esquema de Cadena de Valor de H₂V



Fuente: SEA; 2023

A continuación, se presenta una caracterización detallada de las etapas:

3.1.1 Etapa 1. (Proceso 1) Generación de Energía Renovable (Contribución energética para producción de H₂V)

El objetivo de esta etapa consiste en proveer electricidad de origen renovable (solar, eólica, hidráulica, geotérmica) como insumo primario para la electrólisis del agua. Los proyectos que pueden ser considerados para esta etapa son:

- Parques solares fotovoltaicos, termosolares, plantas eólicas, centrales hidroeléctricas de pasada, proyectos de biomasa y biogás, geotermia y proyectos de generación de energía renovable en general.
- Líneas de transmisión eléctricas de alta y media tensión.
- Subestaciones eléctricas.

3.1.2 Etapa 2. (Proceso 2) Producción de Hidrógeno (Electrólisis u otras tecnologías limpias)

El objetivo de esta etapa consiste en generar hidrógeno (H₂) mediante la electrólisis del agua (u otros procesos innovadores como reformado de biogás o fotoelectrocatalisis) utilizando energía renovable. Los proyectos que pueden ser considerados para esta fase son:

- Planta electrolizadora.
- Sistemas de transformación de energía.
- Instalaciones industriales con vertimientos o emisiones relevantes.
- Captación y tratamiento de agua para el proceso (frecuentemente agua de mar vía desaladoras).
- Infraestructura de captación o extracción de aguas continentales o marinas.
- Infraestructura en borde costero o zona marítima, como plantas desalinizadoras.
- Vertimientos al mar o a cuerpos de agua, descargas de residuos líquidos.
- Tuberías, ductos, gasoductos para el transporte de insumos dentro de la planta

3.1.3 Etapa 3. (Proceso 3) Acondicionamiento y Almacenamiento

El objetivo de esta etapa consiste en preparar el H₂ o sus derivados para su almacenamiento seguro y eficiente, previo al transporte o uso. Incluye compresión, licuefacción, purificación y otros tratamientos fisicoquímicos. Dentro de estos proyectos se puede encontrar:

- Plantas de síntesis y/o producción de amoníaco, metanol u otros derivados químicos del hidrógeno.
- Infraestructura destinada a la producción de combustibles sintéticos o e-fuels.
- Instalaciones destinadas a la reconversión de hidrógeno en carriers líquidos (LOHC, amoníaco, metanol).
- Proyectos que consideren la integración de tecnologías de captura y utilización de carbono (CCU/CCS) junto a la producción de H₂.
- Equipamiento e instalaciones asociadas a la reconversión y procesamiento químico industrial de H₂ y sus derivados.
- Plantas de oxi-conversión.

3.1.4 Etapa 4. (Proceso 4) Transformación Química o Reconversión

El objetivo de esta etapa es transformar el hidrógeno producido, a través de procesos químicos, en derivados de mayor valor agregado, facilitando su almacenamiento, transporte y uso final en distintas aplicaciones industriales, energéticas o de exportación. Esta etapa incluye la reconversión de H₂ en productos como amoníaco, metanol, combustibles sintéticos y carriers líquidos o gaseosos, mediante tecnologías como la síntesis química o procesos de captura y utilización de carbono (CCU/CCS). Ejemplos de proyectos típicos de esta etapa:

- Plantas de síntesis y/o producción de amoníaco, metanol u otros derivados químicos del hidrógeno.
- Infraestructura destinada a la producción de combustibles sintéticos o e-fuels.

- Instalaciones destinadas a la reconversión de hidrógeno en carriers líquidos (LOHC, amoníaco, metanol).
- Proyectos que consideren la integración de tecnologías de captura y utilización de carbono (CCU/CCS) junto a la producción de H₂.
- Equipamiento e instalaciones asociadas a la reconversión y procesamiento químico industrial de H₂ y sus derivados.
- Plantas de oxi-conversión.

3.1.5 Etapa 5. (Proceso 5) Transporte y Distribución

El objetivo de esta etapa consiste en trasladar el H₂ o sus derivados desde los centros de producción y/o almacenamiento hacia los usuarios finales nacionales o internacionales. Esta etapa abarca las infraestructuras y operaciones necesarias para asegurar un transporte seguro, eficiente y trazable, incluyendo tanto el transporte interno como la exportación. Proyectos típicos en esta etapa son:

- Gasoductos y ductos multipropósito (para hidrógeno, amoníaco, metanol, etc.).
- Terminales marítimos y portuarios para embarque de H₂ y sus derivados.
- Camiones cisterna, transporte ferroviario especializado.
- Infraestructura logística para la carga y descarga en puertos o terminales intermodales.
- Proyectos vinculados a la exportación de hidrógeno o sus derivados (amoníaco, metanol, carriers líquidos, etc.).
- Rutas de navegación.

3.2 Medidas ambientales y eficacia en la evaluación ambiental

En el marco del SEIA, el concepto de “medidas” se asocia principalmente a las denominadas medidas de mitigación, reparación o compensación, que surgen para abordar la generación de efectos, características o circunstancias establecidos en el Art. N°11 de la LBGMA, siendo estas:

- **Medidas de mitigación:** según el Art. N°98 del Reglamento del SEIA, estas tienen por objetivo *“evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución.”*
- **Medidas de reparación:** según el Art. N°99 del Reglamento del SEIA, estas tienen por objetivo *“reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al impacto sobre dicho componente o elemento o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas.”*
- **Medidas de Compensación:** según el Art. N°100 del Reglamento del SEIA, estas tienen por objetivo *“producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente a un efecto adverso identificado, que no sea posible mitigar o reparar. Dichas medidas incluirán, entre otras, la sustitución de los recursos naturales o elementos del medio ambiente afectados por otros de similares características, clase, naturaleza, calidad y función.”*

Junto con el plan de medidas ambientales exigido por la normativa cuando un proyecto genera impactos significativos, también puede incorporarse los denominados Compromisos Ambientales Voluntarios (CAV), definidos a partir de lo establecido en los artículos 18 literal m) y 19 literal d) del Reglamento del SEIA. Estos CAV corresponden a compromisos asumidos de forma facultativa por los titulares y no forman parte del plan de medidas establecido en el D.S. N°40/2012, sino que se presentan como acciones complementarias, orientadas por ejemplo al control de impactos no significativos, la reducción de gases de efecto invernadero o la verificación de que no se generen efectos adversos relevantes. Los CAV pueden encontrarse tanto en Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) como en Estudios de Impacto Ambiental (EIA).

De forma similar a lo anterior, tanto en las DIA como en los EIA es posible identificar obligaciones que, pese a no tener definición ni exigibilidad reglamentaria ni legal, son comúnmente comprometidas durante la evaluación en el SEIA y se denominan como “acciones”, “compromisos” o “medidas de control”, las que se encuentran en mayor parte vinculadas a aspectos ambientales señalados en la descripción del proyecto o actividad y actúan como acciones de naturaleza mitigatoria, presentando mecanismos para el abatimiento de

ciertos impactos generados, buscando reducir o eliminar las consecuencias adversas de una actividad sobre un componente del medio ambiente.

En este sentido, si bien las RCA pueden incluir obligaciones adicionales en otras secciones (por ejemplo, obligaciones de la descripción de proyecto, condiciones específicas, normativa ambiental aplicable, permisos ambientales sectoriales o planes de contingencia y emergencia), para efectos de la presente consultoría se trabajó exclusivamente con las medidas de mitigación, reparación y compensación, junto con los compromisos ambientales voluntarios (CAV), por presentar estos una estructura común que permite su sistematización automatizada desde las RCA y que cuentan con los elementos mínimos para evaluar su eficacia, a diferencia de otras obligaciones que no se presentan estructuradamente en las RCA. Ahora bien, para el caso específico de las **medidas de control**, dada su naturaleza mitigatoria, son de interés de representar, por lo que, si bien no presentan una estructura que facilite el análisis automatizado y posterior sistematización detallada ni cuentan con los elementos mínimos en su definición para evaluar su eficacia, por no estar estandarizadas, si es igualmente posible identificar su existencia en las diferentes RCA a través de una data que permita se pueda sistematizar.

Dado lo anterior, para efectos de este estudio, el concepto de medidas se debe entender en su amplio espectro, abordando no solo las establecidas en el Plan de Medidas de Mitigación, Reparación y Compensación, sino también las establecidas en los CAV, considerando que estos últimos se hacen cargo de los impactos no significativos o no tiene relacionado un impacto.

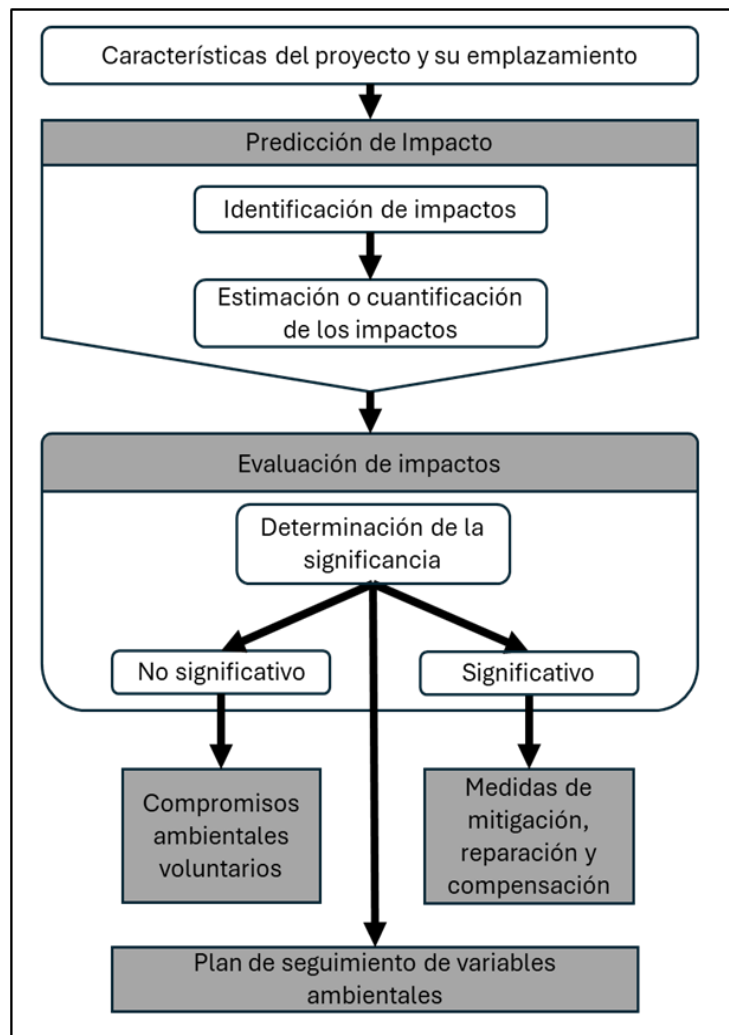
Por otro lado, si bien la eficacia puede ser entendida como la capacidad de una medida de lograr el objetivo ambiental para el cual fue diseñada, no necesariamente entrega resultados verificables y sostenibles en el tiempo. Por lo anterior, para lograr la eficacia deben considerarse, al menos, los siguientes elementos:

- Un diseño claro que relacione la medida con el impacto que busca abordar.
- Medios de verificación e indicadores de cumplimiento objetivos que permitan evaluar no solo su implementación sino también el logro de su finalidad (eficacia).
- Seguimiento que constata la tendencia en el comportamiento de la variable ambiental de interés y no solo de la realización de diferentes actividades.
- Mecanismos de actualización, revisión o adaptación durante su ejecución que no impliquen cambios de consideración.

Por su parte, según lo establecido en el Art. N° 2, letra e) del RSEIA, un impacto ambiental consiste en la “alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada”. En esta línea, como se indicó precedentemente, la medida se considerará eficaz cuando logre el objetivo ambiental para el cual fue diseñada, mediante el abordaje de los impactos predichos en la evaluación ambiental de un proyecto actividad, configurándose por tanto la relación “Impacto - Medida” un binomio conceptual relevante para el análisis de la eficacia, siendo el tratamiento y control del impacto lo que determinará las características de la o las respectivas medidas que permitirán hacerse cargo de éste.

Ahora bien, el SEIA establece una separación entre los impactos considerados “significativos” y “no significativos”, dependiendo de si se configuran alguno de los efectos, características o circunstancias señalados en el Art. N° 11 de la LBGMA, estableciendo la obligación de presentar medidas en el primer caso y la voluntariedad de presentar compromisos ambientales para el segundo. En el esquema a continuación, se representa conceptualmente la relación entre las “medidas” (en su amplia definición utilizada en este estudio) y los impactos que genera un proyecto o actividad en un lugar determinado. Ver Figura 2 a continuación:

Figura 2 Conceptualización y relación entre las medidas e impactos ambientales de un proyecto o actividad en el marco del SEIA



Fuente: Elaboración Propia

En consecuencia, las medidas y su eficacia deben ser analizadas siempre en relación con los impactos ambientales generados por el proyecto. Durante la etapa de evaluación en el marco del SEIA, se busca determinar si la medida es adecuada para hacerse cargo del efecto previsto según lo establecido en la legislación ambiental chilena, mientras que, con posterioridad, su eficacia sólo puede apreciarse una vez implementada, al constatar en la práctica si logra evitar, abatir, mitigar, reparar y/o compensar un impacto específico. Esto, sin perjuicio de la existencia de medidas complementarias orientadas a abordar preocupaciones sociales, de relacionamiento comunitario o desarrollo local.

4 Metodología

En términos generales, la metodología consideró en una primera fase la sistematización automatizada de las medidas contenidas en las RCA de los proyectos disponibles en el SEIA correspondiente a medidas de mitigación, reparación, compensación, compromisos ambientales voluntarios y en una segunda instancia las medidas de control, creando una base de datos y con posterioridad realizar un análisis, excepto de las medidas de control, que estas de forma estructural no es posible verificar su eficacia. De esta forma a partir de la aplicación de diferentes criterios, el análisis preliminar realizado por el equipo consultor y la consulta a expertos de los OAECA, se pudieran seleccionar las medidas consideradas “eficaces”. Los filtros utilizados a la base de datos general corresponden a los criterios de las definiciones claves del estudio, los cuales se detallan a continuación:

- a) Presentar RCA Favorable entre el 24 de diciembre de 2014 y 24 de diciembre de 2023. período que coincide con la vigencia actual del Reglamento del SEIA (D.S. N°40/2012, según su modificación del 2014).
- b) Haber ingresado como DIA para considerar sus CAV, mientras que, para los EIA, se considera los CAV como también las medidas de Mitigación, reparación y compensación.
- c) Presentar, como tipologías primarias o secundarias, en base al literal establecido en el Art. N°10 de la Ley N°19.300 que establece los proyectos que deben someterse al SEIA y que, para este caso, se definió que tienen algún tipo de relación algunas de las siguientes:
 - Etapa 1: Proceso 1 (Energías Renovables No Convencionales): b.1), b.2), c), i), p) y s).
 - Etapa 2: Proceso 2 (Producción de Hidrógeno): a), b2), h.2), j), k), ñ.1), ñ.3,) ñ.4), 0.6), o.7), o.9), p) y s).
 - Etapa 3: Proceso 3 (Acondicionamiento y almacenamiento): h), j.2 o j.4), k), ñ.1), ñ.3, ñ.4, p) y s).
 - Etapa 4: Proceso 4 (Reconversión): h), k), c) ñ.1), ñ.3), ñ.4), o.9, h.2, p) y s).
 - Etapa 5: Proceso 5 (Transporte y distribución): f.), j.2 o j.4) y ñ.5).

4.1 Criterios para selección de proyectos a sistematizar

Para la selección de los proyectos a sistematizar de forma automatizada, se depuró la lista de proyectos, definiendo primero que se trabajaría sobre proyectos que se encontraran en “ejecución”, dado que sobre ellos principalmente sería posible evaluar la eficacia de las medidas implementadas. Por lo anterior, como elemento metodológico de depuración de la lista inicial, se propusieron tres (3) criterios para determinar si un proyecto ha iniciado o no, siendo estos los siguientes:

1. Criterio 1: Que haya declarado el inicio de su ejecución en el Sistema de RCA de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA).
2. Criterio 2: Que haya reportado al menos un (1) informe de seguimiento al Sistema de Seguimiento Ambiental (SSA) de la SMA.
3. Criterio 3: Para el caso de proyectos de generación de energía, que forman parte de la cadena de valor del hidrógeno, que haya informado el inicio de su construcción según el informe de la Comisión Nacional de Energía (CNE).

En base a lo anterior, si un proyecto se encuentra en el listado que resulte del análisis de cualquiera de los criterios anteriores, se entenderá por “iniciado” para efectos de considerarlo en el análisis. Luego, se propuso que, del listado de proyectos iniciados, se clasificaran según el Proceso o Etapa de estos según la cadena de valor de los proyectos de H₂V, para determinar la real pertinencia del proyecto a los objetivos que se persiguen, descartando así proyectos que no tuvieran relación con el H₂V, por ejemplo, proyectos inmobiliarios.

En este contexto a continuación, se desarrollan cada uno de los criterios anteriormente señalados.

4.1.1 Criterio 1: Proyecto que haya iniciado su ejecución

A partir del listado de proyectos que ha declarado en los sistemas de información de la SMA el inicio de su ejecución. Respecto al estado de los proyectos, las RCA pueden presentar diferentes estados, entre los que se encuentran:

- a) Caducada.
- b) Cerrada o abandonada.
- c) En fase de operación.
- d) Iniciada la fase de cierre o abandono.
- e) Iniciada la fase de construcción.
- f) Inicio de ejecución de proyecto (Res. Exenta SMA 860/2025).
- g) No iniciada la fase de construcción.
- h) Sin información.

De los campos anteriores, se determinó que los proyectos que presentaran como estado: i) En fase de operación; ii) Iniciada la fase de cierre o abandono; iii) Iniciada la fase de construcción y iv) inicio de ejecución de proyecto (Res. Exenta SMA 860/2025) serían considerados como “iniciados” para efectos de este estudio, por ser estas iniciativas dónde podría ser posible verificar la eficacia de las medidas implementadas. Por tanto, bajo este criterio, se identificaron 1.024 proyectos.

4.1.2 Criterio 2: Proyectos que presentan al menos un informe de seguimiento ambiental.

Del listado inicial, en el contexto de evaluar la eficacia de las medidas implementadas, se identificaron los proyectos que han presentado al menos un (1) informe de seguimiento ambiental al SSA de la SMA. De lo anterior, se identificaron 428 proyectos.

4.1.3 Criterio 3: Proyectos que han informado a la autoridad eléctrica su inicio.

Dado que el mayor número de proyectos corresponde a generación de energía, con fecha 28 de julio del 2025, el Ministerio de Energía, como contraparte técnica, entregó un listado de proyectos que han informado formalmente su estado de inicio de construcción al Coordinador Eléctrico Nacional. Este registro presenta un listado de 489 proyectos de diferentes tipologías (generación, transmisión, entre otros). Cabe destacar, que dado que de los datos facilitada no existe identificación de los proyectos según el ID de expediente del SEIA respectivo, solo se pudieron relacionar con la base del SEIA a partir de coincidencias de nombres de proyectos. No obstante, dado que los nombres no están completos, son abreviados o difieren del nombre indicado en el SEIA, sólo fue posible vincular algunos de ellos con su respectiva RCA y extraer la información del inicio de construcción.

Así, los proyectos vinculados fueron 50, de los cuales 25 quedaron excluidos en base a los criterios anteriores, por lo que en definitiva fueron añadidos los 25 restantes.

4.1.4 Pertinencia del proyecto con la cadena de valor del Hidrógeno verde

Del análisis de los tres (3) criterios anteriores, se determinó que 1.079 proyectos se encuentran “en ejecución”. Así, estos proyectos fueron posteriormente reclasificados según la “Etapa” de la cadena de valor del H₂V, con el fin de evaluar su pertinencia.

Como resultado de lo anterior, se observaron proyectos que no tienen relación con la cadena de valor del H₂V. Para depurar dicho listado, se realizó un filtro minucioso, en base a la búsqueda de “palabras clave”, revisando el nombre del proyecto. En los casos en que el nombre no fue suficiente, se revisaron las partes, acciones y obras señaladas en la RCA, con el fin de verificar si estas incluían alguna vinculada a la cadena de valor del H₂V.

Por tanto, en base a este criterio, se excluyeron del listado los siguientes tipos de proyectos:

- Centrales de generación a gas.
- Centrales termoeléctricas.
- Proyectos inmobiliarios y de viviendas sociales.
- Camping, Campamentos, Refugios y Hoteles.
- Loteos.
- Centros de engorda de salmónidos y pisciculturas.
- Plantas procesadoras de alimento.
- Plantas de tratamiento de residuos sólidos.
- Plantas de tratamiento de residuos hospitalarios.
- Proyectos de exploración y explotación minera.
- Depósitos de relaves mineros.
- Extracciones de áridos.
- Data center.
- Equipamiento deportivo.
- Antenas de telecomunicación.
- Construcción y/o mejoramiento de caminos.
- Infraestructura complementaria y/o de soporte en áreas protegidas en general.

En base a este criterio, se identificó que 200 proyectos del listado anterior no tienen relación con la cadena de valor del H₂V, distribuidos en 181 DIA y 19 EIA. Por otra parte, se constató la existencia de 1.079 Proyectos que cumplen con los criterios establecidos para analizar sus medidas, pudiendo ser vinculados a cada una de las etapas de la cadena de valor. Lo anterior se resume en la tabla a continuación:

Tabla 1 Clasificación de proyectos a sistematizar de la cadena de valor de H₂V

Etapas Cadena de Valor de H₂V	Subtipo	DIA	EIA
Etapas 1 (ERNC)	Baterías	1	0
	Biogás	2	0
	Biomasa	2	0
	Eólico	33	8
	Geotérmica	0	1
	Hidroeléctrica	8	3
	Líneas de Transmisión Eléctrica	78	8
	Fotovoltaicos	412	9
	Seccionador	2	0
	Subestación	69	0
	Transformador	2	0
Etapas 2 (Producción)		106	5
Etapas 3 (Acondicionamiento y Almacenamiento)		35	0
Etapas 4 (Reconversión)		20	1
Etapas 5 (Transporte y distribución)		72	2
No son parte de la cadena de valor H₂V, por tanto, no se considerar para el análisis.		181	19
TOTAL		1023	56

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Propuesta de selección de proyectos a sistematizar

Tras revisar los proyectos que aplican a cada una de las fases de la cadena de valor del H₂V, se identificó un universo inicial de 1.079 proyectos, compuesto por 1.023 DIA y 56 EIA. A partir de este diagnóstico y considerando que el estudio tenía un plazo acotado de tres meses para su ejecución, el Ministerio de Energía en coordinación con las contrapartes técnicas, definieron un conjunto de filtros orientados a reducir dicho universo y enfocar el análisis en aquellos proyectos con mayor pertinencia para la cadena de valor del H₂V. Esta estrategia permitió conformar una muestra representativa para realizar un análisis inicial centrado en este tipo de iniciativas, asegurando al mismo tiempo la posibilidad de replicar el enfoque para otros tipos de proyectos.

Los filtros utilizados para definir el universo de proyectos a analizar consistieron en:

1. Considerar todos los EIA, debido a que estos albergan todas las medidas a analizar y también los CAV.
2. En el caso de las DIA se delimitó el periodo de selección de proyectos a sistematizar, considerando exclusivamente aquellos que cuentan con RCA favorable a partir del año 2017. Esta delimitación responde a la implementación, por parte del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), de un formato estandarizado para la redacción de las RCA desde dicha fecha, el cual incorpora secciones y campos uniformes relacionados con las medidas ambientales, facilitando así su revisión y sistematización. Adicionalmente, para la Etapa 1 (generación de energía), respecto a los proyectos fotovoltaicos, se aplicó un criterio más restrictivo, limitándose el análisis a los proyectos con RCA favorable emitida, es decir, proyectos cuya evaluación fue concluida y aprobada entre junio de 2019 y el 24 de diciembre de 2023, en concordancia con la reestructuración técnica derivada de la GUIA PAS 160 del SEA y de la circular N° 296/2019 del SAG sobre Compromisos Ambientales Voluntarios. En el caso de los proyectos fotovoltaicos, dado que las regiones de O'Higgins, Maule y Metropolitana concentran un número particularmente elevado de iniciativas, se aplicó un criterio de representatividad que limitó la muestra a un máximo de dos proyectos por comuna en dichas regiones. Con ello se buscó equilibrar la distribución territorial y focalizar el análisis en un conjunto manejable de casos, resultando en un total nacional de 257 proyectos fotovoltaicos (PFV). Finalmente, se omitieron del catastro las RCA asociadas a modificaciones en proyectos eólicos, seccionadoras o ampliaciones en subestaciones, proyectos de tratamiento de agua de material orgánico en la Etapa 2, y proyectos de fractura o exploratorios en la Etapa 5.

Considerando lo anterior, la descripción específica de la reducción del universo de proyectos propuesto por el Ministerio de Energía se identifica de mejor manera a continuación:

1. Se sistematizaron la totalidad de los EIA.
2. Para el caso de las DIA:
 - Etapa 1:
 - Se restan tipologías de biogás, biomasa e hidroeléctrica por desviarse de la cadena de valor del hidrógeno.
 - En proyectos fotovoltaicos se acota al periodo 2019–2023, según criterio CAV PAS 160, y para la Región Metropolitana se deja un máximo de dos (2) proyectos por comuna, omitiendo proyectos intercomunales.
 - En proyectos eólicos se omiten modificaciones.
 - En subestaciones se excluyen seccionadoras o ampliaciones.
 - Etapa 2:
 - Se eliminan tipologías de tratamiento de agua de material orgánico y proyectos en RM al no ser representativos para componentes ambientales.
 - Etapa 3
 - Se consideran todos los proyectos desde el año 2017.

- Etapa 4
 - Se consideran todos los proyectos desde el año 2017.
- Etapa 5
 - Se restan proyectos de fractura o exploratorios.

En base a lo anterior, el universo de proyectos a sistematizar resulta en 490 Resoluciones de Calificación Ambiental, cuyo detalle se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 2 Proyectos del presente estudio a sistematizar de la cadena de valor de H₂V.

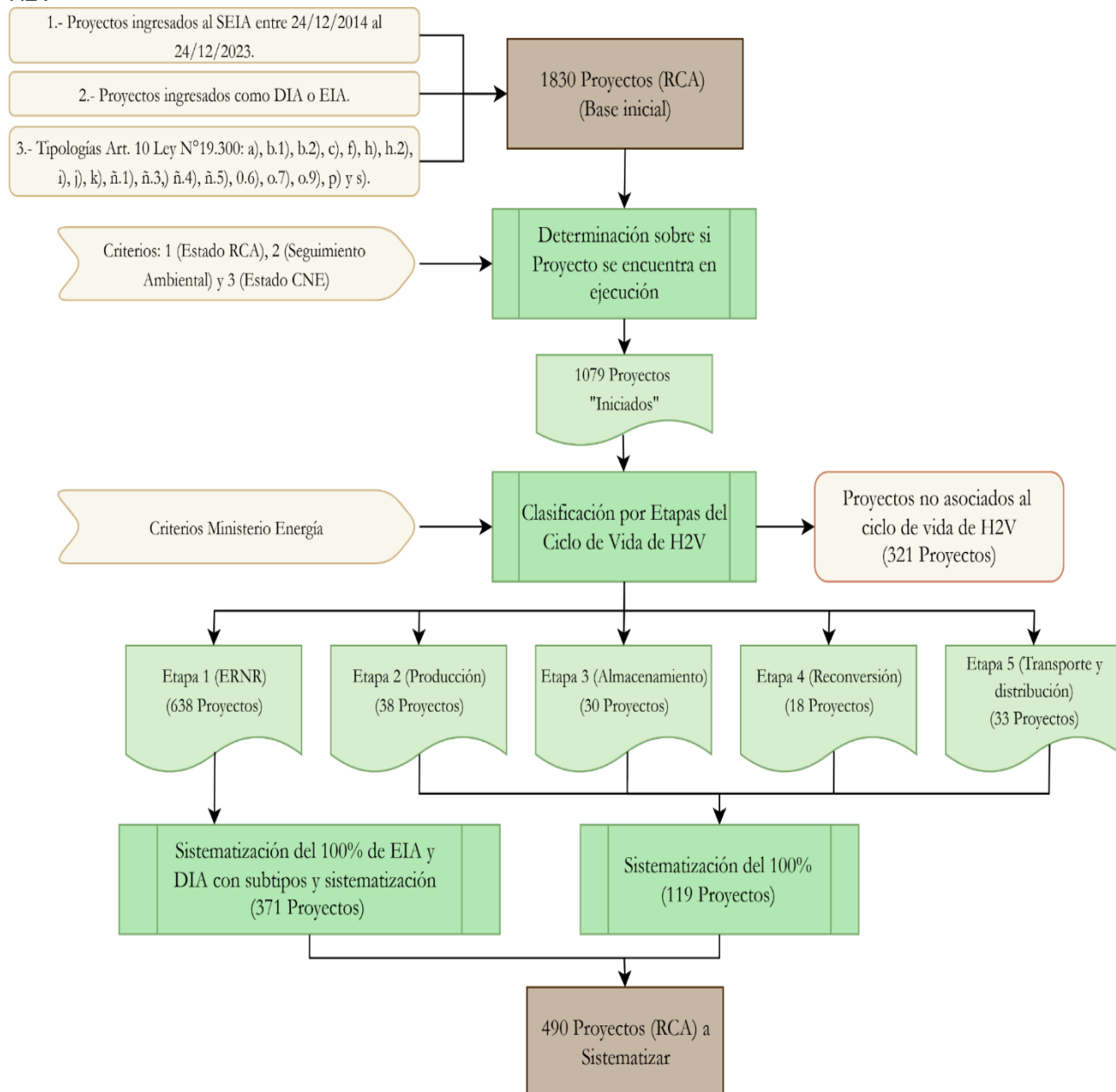
Etapa Cadena de Valor de H ₂ V	Subtipo	Sistematización		
		DIA	EIA	Total
Etapa 1 (ERNC)	Baterías	1	0	1
	Biogás	0	0	0
	Biomasa	0	0	0
	Eólico	17	8	25
	Geotérmica	0	1	1
	Hidroeléctrica	0	3	3
	Líneas de Transmisión Eléctrica	47	8	55
	Fotovoltaicos	257	9	266
	Seccionador	20	0	20
	Subestación	0	0	0
	Transformador	0	0	0
Etapa 2 (Producción)		33	5	38
Etapa 3 (Acondicionamiento y Almacenamiento)		30	0	30
Etapa 4 (Reconversión)		17	1	18
Etapa 5 (Transporte y distribución)		31	2	33
TOTAL		453	37	490

Fuente: Elaboración propia, en base al catastro entregado por el Ministerio de Energía

4.1.6 Síntesis propuesta metodológica

En base a lo desarrollado previamente, se expone a continuación un esquema que sintetiza la propuesta y los resultados asociados a esta etapa metodológica.

Figura 3 Esquema de Síntesis Metodológica de la Sistematización de los Proyectos de la cadena de valor de H2V



Fuente: Elaboración propia

4.2 Metodología de sistematización

4.2.1 Medidas ambientales

Cómo se desarrolló previamente en el apartado de marco conceptual, este estudio sistematizó las medidas considerando tanto las establecidas en los Planes de Medidas de Mitigación, Reparación y Compensación, así como en los CAV, por ser las únicas que presentaban una estructura clara que permitía una extracción automatizada de información. No obstante, lo anterior, en la práctica, durante el diseño y prueba de los algoritmos, se enfrentó dificultades técnicas, dado principalmente por la alta heterogeneidad en cómo se presenta la información en las RCA, por ejemplo:

- Las medidas aparecen en tablas estructuradas, mientras que en otros casos se presentan en formato narrativo.
- Variaciones en el nivel de detalle de las medidas, observándose que en ocasiones se incluye sólo el objetivo, otras veces se describe objetivo y justificación, o bien se entrega objetivo, descripción y justificación en un solo párrafo.
- Los títulos pueden estar dentro o fuera de las tablas, e incluso ausentes.
- El formato de los documentos, especialmente las RCA, también es diverso: digitalizados, escaneados o en XML.

Estas condiciones requirieron acotar el universo de trabajo únicamente a los capítulos de Medidas de Mitigación, Reparación y Compensación, y a los CAV presentes en las RCA de los EIA y DIA. Sin embargo, se trabajó en paralelo en la identificación de las denominadas “Medidas de Control”, lo que no ha estado exento de otras dificultades, por no responder a un patrón o estructura automatizable, constatándose la existencia de “medidas de control” como acciones específicas que son parte de una medida de mitigación; de forma innominada dentro de una descripción cualitativa, haciendo referencia a anexos u otros documentos en donde se detallan, entre otros.

4.2.2 Sistematización de las medidas ambientales

Para extraer la información de las medidas ambientales desde los documentos RCA, primero se revisó la estructura de las secciones de las RCA donde se presentan medidas como CAV y aquellas asociadas al plan de medidas de mitigación, reparación y compensación, con el fin de detectar sus patrones de similitud, tanto en la ubicación de las medidas dentro del documento como en la forma de presentación (tablas).

A partir de ello, se generaron códigos en Python que permitieron la detección de tablas y extracción automática de textos a partir de dichos patrones, utilizando la herramienta PDFPlumber. Por tanto, la estructura base detectada son tablas con el nombre de la medida en la primera fila de cada tabla y el detalle de campos de información y su contenido en el resto de las filas. De esta forma, el código desarrollado cuenta con la siguiente estructura:

- **Entradas:** documentos de RCA de DIA y EIA en formato PDF, listado con ID SEA de cada proyecto a sistematizar, listado con información clave de cada proyecto.
- **Proceso:**
 - Definición de *triggers* o patrones de texto que marcan las secciones y páginas del documento desde las cuales se extraerán las medidas. Por ejemplo, frases clave del considerando de la RCA en los cuales se presentan las medidas.
 - Definición de diccionario de términos clave a extraer, por ejemplo, impacto asociado, componente ambiental, objetivo, etc.
 - Detección de encabezados y extracción de tablas.
 - Extracción de texto por fila de cada tabla identificada y asignación de campos clave.
 - Recopilación de registros para la tabla final de resultados y depuración de valores.
- **Salidas:** archivo .xlsx con las medidas y campos de información extraídos para cada documento de RCA, archivo .log con el detalle del procesamiento.

Con ello, se generó un código para extraer los CAV de las DIA y EIA, mientras que otro para extraer medidas del Plan de Medidas de Mitigación, Reparación y Compensación de los EIA, dado que los patrones de texto y diccionario de términos clave son diferentes.

El detalle del sistema desarrollado, requerimientos de software y otras especificaciones se presenta en el **Anexo 1**. Por su parte, en el **Anexo 2** se incluyen los códigos (en formato Py) y archivos auxiliares utilizados (en formato Excel).

Cabe destacar, que el código generado fue testeado y modificado de forma iterativa, con la finalidad de poder extraer la mayor cantidad de medidas de forma automática. En varios casos se incorporaron excepciones de texto, a partir de casos de documentos específicos, sin embargo, las diferencias de estructura entre los documentos generaron una extracción parcial o nula del contenido en algunos casos, requiriéndose una revisión manual para completar la sistematización.

Finalmente, es importante mencionar que esta metodología y herramienta sólo permite extraer información desde documentos digitalizados y no desde documentos escaneados. En este sentido, si bien se realizaron pruebas para traspasar los documentos escaneados a un formato digital, no fue posible detectar las tablas (estructura de líneas) correctamente, por lo que se utilizaron los documentos digitalizados de los Informes Consolidados de Evaluación (ICE), en caso de estar disponibles o, en su defecto, se extrajo la información de forma manual para sistematizar el listado de proyectos previamente convenido en los plazos del estudio.

4.3 Sobre la organización de la información para su análisis

Para generar una data con la sistematización de las medidas (reflejado en las columnas), ante la ausencia de criterios homogéneos en los nombres, componentes ambientales y fases asociadas a las medidas, se determinó la necesidad metodológica de realizar una clasificación a través de la *asignación de categorías y subcategorías*, las cuales resultaron de un análisis caso a caso, pero que permitieran organizar la información de manera consistente. Este procedimiento se basó en la revisión integral del nombre, objetivo, descripción y justificación de cada medida, lo que, si bien incrementó la carga de trabajo, constituyó la única alternativa viable y eficaz para contar con una clasificación coherente y útil para el análisis posterior en el contexto de los objetivos de este proyecto.

Cabe destacar que la creación de estas subcategorías no corresponde a una propuesta metodológica sobre cómo deberían sistematizarse las medidas en los EIA o DIA. Por el contrario, se trata de una herramienta analítica específica para este estudio, diseñada con el fin de organizar y ordenar las medidas ambientales asociadas a la cadena de valor del hidrógeno verde. Su objetivo último es facilitar que, en etapas posteriores, sea posible aplicar filtros más precisos y eficientes al momento de seleccionar y evaluar el conjunto final de medidas eficaces y relacionarlas con los impactos.

En este contexto, se definió una metodología a paraposito para la construcción de categorías y subcategorías, orientada a generar un mecanismo de clasificación que permita organizar todas las medidas de forma sistemática y coherente, abriendo la posibilidad de realizar búsquedas y agrupamientos más genéricos, de manera masiva, en fases posteriores del análisis.

La metodología se sustenta en los siguientes pasos:

- a) **Revisión de la medida en su contexto original:** Se analiza cada medida a partir de su denominación, descripción, objetivo declarado y justificación técnica contenida en la RCA. Este procedimiento permite identificar el verdadero propósito de la medida, independiente de la denominación poco clara o inconsistente que pueda presentar.
- b) **Asignación a una categoría general:** Las medidas son clasificadas en una categoría amplia asociada al ámbito de protección, componente o gestión ambiental al que refieren (ejemplo: flora, fauna, patrimonio cultural, entre otros). Estas categorías corresponden a niveles generales que facilitan una primera agrupación.
- c) **Definición de subcategorías específicas:** Dentro de cada categoría general, se definen subcategorías, que permiten discriminar medidas con objetivos similares o con un campo de acción compartido. Esta diferenciación se basa en la acción principal que la medida propone (ejemplo: rescate, monitoreo, reforestación, relocalización, compensación, etc.).

- d) **Descripción genérica de las subcategorías:** Cada subcategoría cuenta con una descripción genérica, la cual orienta respecto a qué tipo de medidas pueden ser agrupadas en ella. Esta descripción no corresponde a una definición normativa, sino a un insumo metodológico para facilitar búsquedas y filtros internos del estudio (ejemplo: Elaboración de estudios técnicos y/o científicos, perturbación controlada, control de emisiones atmosféricas, señalética, etc.).
- e) **Validación y ajuste progresivo:** La categorización es de carácter iterativo. Ello permite que, a medida que se incorporan nuevas medidas sistematizadas, se revisa y ajusta la pertinencia de las subcategorías, de modo de asegurar que la clasificación siga siendo coherente, representativa y útil para el objetivo final del estudio.

La propuesta de tabla de categorías y subcategorías es la siguiente, sin embargo, de acuerdo con su naturaleza y características, los nombres podrían ser ajustados a lo largo del desarrollo del estudio, obteniendo una categoría y subcategoría en la sección resultados:

Tabla 3 Categorías y subcategorías de las medidas sistematizadas

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	Descripción de la Medida
Componente Físico	Caracterización y/o Monitoreo de Suelo	Medidas orientadas al levantamiento y/o seguimiento de periódico de información sobre los principales parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo (como textura, estructura, compactación, nutrientes, materia orgánica o contaminantes).
	Control de Efluentes Líquidos	Medidas orientadas a tratar y controlar las descargas líquidas generadas por el proyecto, asegurando que cumplan con la normativa ambiental vigente.
	Control de Emisiones Atmosféricas	Acciones destinadas a mitigar la emisión de contaminantes al aire durante las distintas fases del proyecto. Pueden incluir sistemas de abatimiento como el control de polvo mediante riego o cubrimiento.
	Control de Erosión	Medidas preventivas y correctivas para evitar la pérdida y arrastre de suelos producto de las actividades del proyecto. Incluyen la instalación de barreras, manejo de escorrentías, estabilización de taludes, revegetación y otras técnicas que reduzcan procesos erosivos
	Control de Ruido y Vibraciones	Acciones de mitigación dirigidas a reducir la generación y propagación de ruido y vibraciones proveniente de las actividades del proyecto. Estas medidas pueden incluir el uso de barreras acústicas, silenciadores en equipos, programación de horarios de operación y limitaciones en el uso de maquinaria ruidosa en horarios sensibles.
	Mejoramiento o Recuperación de Suelo	Medidas destinadas a restituir la calidad y funcionalidad de los suelos afectados por la ejecución del proyecto.
	Monitoreo Atmosférico	Medidas orientadas a medir y registrar periódicamente parámetros de calidad del aire (material particulado, gases, contaminantes específicos, olores y parámetros meteorológicos) en puntos estratégicos, con el fin de identificar variaciones atribuibles al proyecto.
	Monitoreo Hídrico	Acciones de seguimiento sistemático de la calidad y/o cantidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en el área de influencia del proyecto.
	Monitoreo Ruido y Vibraciones	Acciones que buscan evaluar los niveles de presión sonora o vibraciones en áreas sensibles cercanas al proyecto, mediante mediciones periódicas y contrastándolos con los estándares normativos aplicables.

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	Descripción de la Medida
Ecosistema	Monitoreo Ambiental	Medidas orientadas a realizar un seguimiento sistemático y periódico de las condiciones ecológicas de los ecosistemas presentes en el área de influencia del proyecto.
	Enriquecimiento Ambiental	Acciones destinadas a incrementar la calidad ecológica de los ecosistemas intervenidos, mediante la incorporación de elementos que potencien su biodiversidad, resiliencia o servicios ecosistémicos. Estas medidas pueden considerar la plantación de especies nativas, creación de refugios para fauna, mejoramiento de hábitats o implementación de infraestructuras verdes que favorezcan la conectividad ecológica.
	Restauración y/o Protección Ecosistemas	Medidas orientadas a mantener, recuperar o mejorar la funcionalidad de los ecosistemas presentes en el área de influencia del proyecto. Incluyen acciones de protección de hábitats, rehabilitación de áreas degradadas, manejo de especies invasoras, establecimiento de áreas de conservación o implementación de planes de manejo que garanticen la integridad ecológica a largo plazo.
Fauna	Anticolisión y/o Prevención de Posado de Avifauna	Medidas específicas para reducir riesgos de colisión o electrocución de aves en infraestructura del proyecto (líneas eléctricas, aerogeneradores, torres, etc.). Pueden considerar la instalación de disuasores visuales, aislamiento de tendidos eléctricos, rediseño de estructuras y mecanismos que eviten el posado de las aves en lugares de riesgo.
	Caracterización y/o Monitoreo de Fauna	Medidas orientadas a levantar información sobre la fauna del área de influencia y a realizar seguimientos periódicos para evaluar posibles impactos del proyecto.
	Perturbación Controlada	Medidas de ahuyentamiento preventivo, no letales y graduales, destinadas a inducir el abandono paulatino del área de obra por parte de la fauna de baja movilidad.
	Rescate y Relocalización	Acciones destinadas a la captura, traslado y reubicación de individuos de fauna silvestre que se encuentran en áreas de intervención, con el fin de evitar su afectación directa por las obras. Estas medidas consideran protocolos de manejo adecuados para asegurar la supervivencia de los ejemplares trasladados.
	Restauración y/o Protección de Especies	Medidas dirigidas a garantizar la preservación o recuperación de especies de fauna en riesgo o vulnerables, mediante programas de conservación, reproducción asistida, control de amenazas y generación de condiciones que favorezcan su viabilidad poblacional.
	Restauración y/o Protección de Hábitats	Acciones enfocadas en mantener, rehabilitar o mejorar los ambientes naturales que sirven de refugio, alimentación o reproducción para la fauna. Incluyen revegetación con especies nativas, eliminación de barreras físicas, control de especies invasoras y creación de áreas de resguardo.
Flora y vegetación	Caracterización y/o Monitoreo de Flora y Vegetación	Medidas orientadas al monitoreo y resguardo de la flora y vegetación en el área de influencia, mediante el seguimiento periódico de especies y comunidades relevantes (a través de su correspondiente plan de seguimiento), con el fin de evaluar cambios en su composición, abundancia y tendencias, y adoptar acciones correctivas que eviten su afectación por los efectos del proyecto.
	Rescate y Relocalización	Medidas orientadas a extraer, trasladar y reubicar ejemplares de especies vegetales que se encuentran en áreas de intervención, con el

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	Descripción de la Medida
		objetivo de asegurar su supervivencia en zonas aptas para su desarrollo, evitando su pérdida definitiva.
	Restauración y/o Protección	Medidas destinadas a preservar o recuperar la cobertura vegetal afectada por el proyecto. Incluyen acciones como la revegetación con especies nativas, la protección de formaciones vegetacionales sensibles, el control de especies invasoras y la implementación de áreas de resguardo para conservar la integridad del ecosistema.
Medio humano	Beneficios a la Comunidad	Acciones orientadas a generar aportes directos o indirectos que mejoren la calidad de vida de las comunidades del entorno. Estas medidas pueden materializarse en obras de infraestructura comunitaria, programas de apoyo social, iniciativas de desarrollo productivo o proyectos de educación y salud que respondan a necesidades locales.
	Elaboración de Estudios Técnicos y/o Científicos	Medidas que contemplan el financiamiento y desarrollo de estudios especializados en materias de interés para las comunidades locales o los territorios del área de influencia. Estos estudios pueden abarcar temas ambientales, sociales, económicos o culturales, y buscan entregar información útil para la gestión territorial, la toma de decisiones y la generación de conocimiento aplicado.
	Fomento de Mano de Obra local	Medidas destinadas a promover la contratación de trabajadores/as y servicios de las comunidades del área de influencia del proyecto, priorizando la empleabilidad local en distintas fases de ejecución.
	Formas de Relacionamento Comunitario	Acciones destinadas a establecer y mantener canales de comunicación y participación con las comunidades durante todo el ciclo del proyecto. Incluyen instancias de diálogo, mesas de trabajo, mecanismos de información transparente, consultas periódicas y otros espacios de participación que favorezcan la confianza y la cooperación entre titulares y comunidades locales.
Obras	Inducciones y/o Charlas	Acciones de formación y sensibilización dirigidas a trabajadores, contratistas o comunidades, con el fin de informar sobre riesgos, protocolos ambientales, normativas de seguridad y buenas prácticas durante las distintas fases del proyecto.
	Minimización de Intervención	Medidas orientadas a evitar o reducir al mínimo la afectación de elementos ambientales sensibles durante la ejecución del proyecto. Consideran acciones como el ajuste del trazado de obras, la delimitación estricta de áreas de trabajo, el resguardo de zonas de nidificación o reproducción de fauna, y la prevención de alteraciones innecesarias de suelos, aguas y coberturas vegetales.
	Plan de gestión HSE	Medidas orientadas a la implementación de planes integrales de salud, seguridad y medio ambiente durante la ejecución del proyecto.
	Señaléticas	Acciones orientadas a la instalación de señalización preventiva, informativa y restrictiva relacionado con el proyecto. Estas medidas buscan ordenar la circulación de personas y vehículos, delimitar áreas sensibles y reforzar la seguridad laboral y ambiental.
	Transporte y Vialidad	Medidas destinadas a gestionar los impactos asociados al tránsito de maquinaria, equipos y personal. Incluyen planes de transporte, mantenimiento de caminos, regulación de velocidades, y coordinación con las comunidades para minimizar riesgos viales y molestias.

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	Descripción de la Medida
Paisaje y Turismo	Armonización visual	Acciones destinadas a reducir el impacto visual de las obras e instalaciones, favoreciendo su integración al paisaje circundante. Consideran medidas como el uso de colores y materiales acordes al entorno, ocultamiento de estructuras mediante cortinas vegetales o diseño arquitectónico compatible con el paisaje natural o cultural.
	Fomento de Turismo	Medidas orientadas a potenciar la actividad turística en el área de influencia del proyecto, mediante acciones que promuevan el uso sostenible de los recursos naturales y culturales locales. Estas medidas pueden incluir la habilitación de senderos o miradores, el apoyo a iniciativas de turismo comunitario, la promoción de actividades recreativas y culturales, o la implementación de infraestructura y servicios que fortalezcan la oferta turística del territorio.
	Paisajismo Áreas Verdes	Medidas orientadas a diseñar, implementar o mejorar áreas verdes en torno al proyecto con el fin de integrar la infraestructura al entorno y generar espacios de valor estético y ecológico.
Patrimonio	Caracterización y/o Monitoreo Patrimonial	Medidas que buscan levantar información detallada y sistemática sobre los elementos patrimoniales presentes en el área de influencia del proyecto, así como establecer mecanismos de seguimiento periódico para evaluar su estado de conservación y eventuales afectaciones.
	Conservación Patrimonial	Medidas orientadas a garantizar la preservación in situ o ex situ de elementos patrimoniales, mediante acciones de protección física, control de agentes de deterioro, vigilancia o implementación de planes de manejo que reduzcan riesgos de pérdida o alteración.
	Puesta en Valor de Patrimonio	Medidas destinadas a promover, fortalecer y visibilizar el patrimonio cultural y natural, material e inmaterial, a través de acciones que fomenten su reconocimiento social y la transmisión de saberes y prácticas asociadas.
	Patrimonio Cultural Material	Acciones destinadas a la recuperación, traslado y resguardo de bienes patrimoniales materiales que puedan verse afectados por el desarrollo del proyecto, tales como hallazgos arqueológicos, paleontológicos, piezas arquitectónicas u objetos históricos.
	Restauración Patrimonial	Acciones que buscan reparar, rehabilitar o devolver su integridad original a bienes patrimoniales que presentan algún grado de deterioro, de manera que se asegure su permanencia y valor cultural a largo plazo.

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Metodología de Talleres de Trabajo con OAECA

Como parte del proceso de validación y selección de medidas, se realizaron dos jornadas de trabajo con los OAECA. Ambas instancias buscaron recoger insumos técnicos desde la experiencia, fortaleciendo la definición de medidas eficaces a través de la discusión colectiva.

Consideraciones metodológicas comunes

- Se privilegió una dinámica participativa, donde la discusión fue guiada por preguntas previamente definidas, pero flexible para incorporar aportes emergentes a partir de las discusiones desarrolladas.

- La información obtenida fue sistematizada en su totalidad para alimentar las etapas posteriores de análisis y selección de medidas.

4.4.1 Taller 1 (04/09/2025) – Trabajo preliminar de análisis de medidas

La primera jornada se llevó a cabo en modalidad virtual mediante la plataforma Zoom, complementada con pizarras digitales interactivas. Su desarrollo consideró las siguientes instancias:

- Presentación inicial:** exposición del contexto del estudio, avances de la sistematización y reglas de la actividad. Se presentaron los participantes y se destacó el rol de los OAECA en la validación de medidas ambientales.
- Trabajo en mesas temáticas:** los participantes se organizaron en grupos según sus competencias (flora, fauna, agua, patrimonio, aire, medio humano, entre otros). En cada mesa se presentaron ejemplos de medidas representativas por categoría y subcategoría, previamente seleccionadas a partir de la sistematización.
- Discusión guiada:** se formularon preguntas orientadoras sobre la eficacia, pertinencia y seguimiento de las medidas. Las respuestas se registraron en tiempo real mediante notas adhesivas digitales en la pizarra compartida, sin requerir consenso inmediato.
- Cierre de la jornada:** se agradeció la participación y se destacó que los aportes serían sistematizados para alimentar la siguiente etapa del proceso.

La división de mesas de trabajo según organismos competentes fue la siguiente:

Tabla 4 Distribución de las mesas de trabajo por categoría y subcategoría aplicable.

Mesa de trabajo	Entidades OAECA	Categorías aplicables	Subcategorías por mesa de trabajo
Nº1	<ul style="list-style-type: none"> • CONAF • SEA 	<ul style="list-style-type: none"> • Flora y vegetación • Ecosistema • Paisaje • Obra (cuando afecta cobertura vegetal, paisaje) 	<ul style="list-style-type: none"> • Restauración y/o protección flora y vegetación • Rescate y trasplante flora • Caracterización y/o monitoreo de flora y vegetación • Armonización Visual • Paisajismo áreas verdes • Minimización de intervención
Nº2	<ul style="list-style-type: none"> • SAG • SBAP • SUBPESCA • MMA • SEA 	<ul style="list-style-type: none"> • Fauna (terrestre y marina) • Ecosistema • Componente Físico • Medio Humano • Obra (cuando protege fauna o ecosistemas) 	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización y/o Monitoreo de Suelo • Control de erosión • Mejoramiento o recuperación de suelo • Enriquecimiento ambiental • Anticolisión y/o prevención de posado de avifauna • Caracterización y/o monitoreo fauna • Perturbación controlada • Rescate y relocalización • Restauración y/o protección de hábitats • Restauración y/o protección especies fauna • Beneficio a la comunidad • Elaboración de estudios técnicos y/o científicos

Mesa de trabajo	Entidades OAECA	Categorías aplicables	Subcategorías por mesa de trabajo
N°3	<ul style="list-style-type: none"> MINSAL SEA 	<ul style="list-style-type: none"> Componente físico (aire, ruido, olores, efluentes líquidos) Medio humano Obra (señalética, seguridad en tránsito, medidas operativas de obra) 	<ul style="list-style-type: none"> Control de efluentes líquidos Control de emisiones atmosféricas Control de ruido y vibraciones Monitoreo atmosférico Monitoreo ruido y vibraciones Fomento de Mano de Obra Local Plan de gestión HSE Señalética Transporte y vialidad.
N°4	<ul style="list-style-type: none"> DGA SEA 	<ul style="list-style-type: none"> Componente físico (monitoreo hídrico, efluentes líquidos, protección de cursos) Ecosistema (en caso de que apliques hídricos) Obra (cuando evita alteraciones a cauces/aguas) 	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo hídrico Monitoreo ambiental Restauración y/o protección de ecosistemas Minimización de Intervención.
N°5	<ul style="list-style-type: none"> CMN SEA 	<ul style="list-style-type: none"> Patrimonio Obra (cuando protege patrimonio cultural) 	<ul style="list-style-type: none"> Formas de relacionamiento comunitario Inducciones y/o Charlas Caracterización y/o monitoreo patrimonial Conservación patrimonial Puesta en valor de patrimonio Rescate patrimonio tangible

Fuente: Elaboración propia

Así, para cada una de las mesas de trabajo establecidas, el facilitador planteó las siguientes preguntas para la discusión de los expertos:

- ¿Cuál es un ejemplo idóneo de medida eficaz para esta subcategoría y qué elementos debe considerar?
- ¿Qué elementos dificultan la implementación práctica de una medida de esta subcategoría?
- ¿Qué dificultades tiene la autoridad para evaluar el cumplimiento del objetivo de la medida al momento de su fiscalización?
- ¿Qué elementos, criterios o factores son esenciales para definir una medida eficaz?
- ¿Qué elementos esenciales debe contener el medio de verificación para evaluar la implementación eficaz de una medida?

Las respuestas, criterios, ejemplos y lineamientos entregadas por los expertos durante la discusión fueron recopilados mediante herramientas tecnológicas tipo pizarra interactiva, complementada con un archivo Excel compilatorio, el cual fue remitido a los profesionales participantes, con el fin de poder incorporar casos que no alcanzaron a tratarse en la jornada.

4.4.2 Ajustes metodológicos entre talleres

Para la segunda jornada, en base a los resultados del primer taller, se decidió utilizar únicamente la categoría y subcategoría como base para extraer los impactos ambientales más relevantes junto con sus respectivas medidas de seguimiento. Con este fin, se revisaron todos los impactos asociados a los componentes definidos

(aire, medio humano, residuos, agua, fauna, flora, suelo, patrimonio, entre otros). Así, se agruparon impactos comunes, acompañado de medidas de ejemplo que permitieran ilustrar de manera más clara y ordenada cómo se abordaba cada caso. El objetivo del taller sería validar tanto los impactos ambientales identificados como elegir la o las medidas consideradas eficaces para hacerse cargo del impacto validado.

4.4.3 Taller 2 (10/09/2025) – Priorización y caracterización de medidas

La segunda jornada se desarrolló de forma presencial, con una metodología participativa estructurada en cuatro pasos. La dinámica consideró la disposición de paneles impresos con fichas de impactos ambientales y medidas tipo asociadas a cada componente, organizadas por mesas de trabajo. Las dos mesas que no se constituyeron fueron aquellas vinculadas al componente de patrimonio (CMN) y a los componentes de suelo y fauna (SAG), por su parte, se analizaron los impactos asociados al ecosistema marino, pero sin representantes del OAECA competente, colaborando en esta tarea el equipo de especialistas del SEA, el mandante y del equipo consultor.

En el marco de esta jornada, las medidas priorizadas surgieron a partir de la discusión técnica desarrollada con los organismos participantes, considerando la disponibilidad de expertos por componente y el alcance de los impactos representados en la muestra sistematizada. Como resultado de este proceso, el número final de medidas eficaces se ajustó de las veinte (20) inicialmente previstas a diecinueve (19), reflejando la convergencia alcanzada entre la representatividad temática, la validación interinstitucional y la coherencia técnica lograda durante la jornada.

La metodología aplicada fue la siguiente:

- a) **Priorización de impactos por componente** – Identificación y jerarquización de los impactos ambientales más relevantes asociados a cada componente.
- b) **Selección de medidas por impacto** – Discusión de las medidas tipo disponibles y propuesta de nuevas medidas cuando los organismos lo consideren pertinente.
- c) **Priorización de medidas seleccionadas** – Ordenamiento de las medidas según su efectividad percibida para abordar los impactos priorizados.
- d) **Caracterización de medidas eficaces** – Definición de atributos que deberían tener las medidas para ser consideradas eficaces (diseño, implementación, seguimiento y medios de verificación).

Durante todo el proceso, las respuestas y observaciones se registraron en paneles mediante notas adhesivas físicas, lo que facilitó la visualización de la información y permitió construir de manera colectiva los criterios de eficacia. La división de mesas de trabajo según organismos competentes, son las siguientes.

Tabla 5 Distribución de las mesas de trabajo según categoría aplicable

Mesa de trabajo	Entidades OAECAs	Categorías aplicables
N°1	• CMN	• Patrimonio
N°2	• CONAF • SEA	• Flora y vegetación
N°3	• DGA • SUBPESCA • SEA	• Hídrico • Ecosistema acuático
N°4	• MINSAL • SMA • SEA	• Aire • Medio Humano • Residuos • Ruido y Vibraciones

Mesa de trabajo	Entidades OAECA	Categorías aplicables
N°5	<ul style="list-style-type: none"> SAG¹ 	<ul style="list-style-type: none"> Suelo Fauna
N°6	<ul style="list-style-type: none"> SBAP MMA SEA 	<ul style="list-style-type: none"> Ecosistema terrestre Fauna

Fuente: Elaboración propia

Así, para cada una de las mesas de trabajo establecidas, el facilitador planteó las siguientes preguntas, para la discusión de los expertos:

- Paso 1: ¿Cuál impacto es más relevante para este componente?
- Paso 2: De las medidas presentadas, ¿cuáles permitirían abordar el impacto ambiental? ¿Qué nuevas medidas se pueden proponer para abordar el impacto?
- Paso 3: ¿Cómo priorizaría las medidas según su efectividad para abordar el impacto ambiental?
- Paso 4: ¿Qué atributos debe tener una medida para abordar el impacto ambiental de forma efectiva (diseño, implementación, seguimiento, medios de verificación)?

4.5 Selección de medidas según el impacto ambiental

A partir de la sistematización de medidas ambientales contenidas en las RCA, y considerando los ajustes metodológicos definidos entre talleres (ver sección 4.5.2), se desarrolló un procedimiento específico para vincular los impactos identificados con las medidas propuestas en los proyectos asociados a la cadena de valor del hidrógeno verde.

Este ajuste metodológico respondió a la necesidad de simplificar y reorganizar la información presentada a los OAECA, priorizando el uso de categorías y subcategorías como base para extraer los impactos ambientales más relevantes junto con sus medidas de seguimiento. De este modo, cuando existían múltiples impactos que abordaban una misma temática, éstos fueron consolidados en un impacto ambiental genérico, acompañado de medidas de ejemplo que ilustraran de manera más clara y ordenada cómo se abordaba cada caso.

La razón principal de esta decisión radica en la necesidad de identificar y caracterizar medidas eficaces, lo que permitió abordar los impactos ambientales de la cadena de valor del hidrógeno verde. Si bien la categorización y subcategorización inicial de medidas resultó útil para filtrar y organizar la gran cantidad de datos disponibles, el análisis debía centrarse en aquellas medidas (mitigación, compensación, reparación o CAV) que explicitaban un impacto ambiental asociado a un componente específico (Aire, Flora y Vegetación, Fauna, etc.). En consecuencia, el filtro inicial permitió agrupar la información de forma consistente entre distintos componentes y, posteriormente, verificar y seleccionar los impactos ambientales más pertinentes para la construcción de medidas eficaces.

Bajo este enfoque, se aplicó un procedimiento estructurado en cuatro etapas principales:

- Extracción inicial de medidas:** Se utilizó la base de sistematización de datos para identificar un conjunto de medidas con sus respectivos impactos ambientales asociados. Para cada medida se recopiló el proyecto de origen, el tipo de medida, así como el objetivo, descripción y justificación consignados en la RCA. Esta información sirvió de insumo metodológico para las etapas posteriores.
- Unificación de impactos ambientales:** Dado que en numerosos casos un mismo componente ambiental presentaba varios impactos de naturaleza similar, se procedió a consolidarlos en un impacto ambiental unificado. Este ejercicio permitió simplificar la presentación y reducir redundancias, agrupando bajo una misma denominación genérica aquellos impactos que compartían la misma

¹ Si bien se realizó la invitación al OAECA, sin embargo, no pudo asistir, y la mesa se cubrió con funcionarios del SEA.

temática (por ejemplo, para el componente aire los impactos ambientales alteración de la calidad del aire y riesgo para la salud de la población por emisiones atmosféricas se unificaron en la alteración de la calidad del aire).

- c) **Normalización de medidas:** Se identificó que distintas RCA contenían medidas con objetivos ambientales equivalentes, pero redactadas con denominaciones diferentes según el proyecto de origen. Para facilitar el análisis comparativo y evitar dispersión, estas medidas se unificaron bajo un nombre genérico de medida tipo, manteniendo al mismo tiempo la trazabilidad con los nombres originales de las RCA (por ejemplo, las medidas “rescate, viverización y trasplante de ejemplares en categoría de conservación” y “rescate y relocalización de cactáceas” se integraron en una medida genérica denominada “Rescate y relocalización de flora”). De este modo, se aseguró que todas las medidas que compartieran un mismo objetivo ambiental fueran agrupadas coherentemente para su análisis.
- d) **Asignación por componente y etapa:** Los impactos ambientales unificados y sus medidas asociadas fueron organizados por componente ambiental (flora, fauna, agua, aire, patrimonio, suelo, medio humano, residuos, ruido y vibraciones, etc.), destacando además en qué etapas de la cadena de valor del hidrógeno verde aplicaban. Esta clasificación permitió vincular la medida no solo al componente afectado, sino también a la fase del ciclo productivo en la que se genera el impacto.

Con esta metodología, se elaboraron las siguientes fichas de trabajo:

Tabla 6 Nombre de medidas tipo según los impactos ambientales asociados, organizados por etapa de la cadena de valor del H₂V

Impacto asociado	Etapa	Nombre de medidas tipo
Flora y Vegetación		
Pérdida de flora y vegetación	Etapa 1 y 2	Rescate y relocalización de flora
	Etapa 1 y 2	Plantación por pérdida de cobertura de vegetación
	Etapa 1 y 2	Revegetación en áreas intervenidas por el proyecto
Deterioro o afectación de flora y vegetación	Etapa 1	Minimización de intervención por tala de bosque
	Etapa 1	Control de especies exóticas invasoras
	Etapa 1	Cercos para evitar ingreso de ganado
	Etapa 1	Protección y demarcación de individuos o área a resguardar
	Etapa 1	Monitoreo estado sanitario de la vegetación
	Etapa 1	Charla o capacitación ambiental para el cuidado de hábitat de flora
Fauna		
Domesticación de fauna silvestre	Etapa 1	Evitar domesticación de fauna silvestre (Capacitación a trabajadores sobre no alimentación de fauna silvestre y gestión de residuos)
Fragmentación hábitat de quirópteros	Etapa 1	Instalación de refugios para las poblaciones de quirópteros (Instalación de casetas)
Impacto en abundancia de especies por caza y/o recolección fortuita en el área del proyecto	Etapa 2	Prohibición de cazar, retener o recolectar huevos y crías

Impacto asociado	Etapas	Nombre de medidas tipo
Mortalidad incidental de fauna nativa	Etapa 1	Habilitación de pasos seguros y/o canales para fauna
	Etapa 2	Instalación señalética y educación vial
Pérdida de hábitat reproductivo de avifauna	Etapa 1	Liberación paulatina del área de construcción
	Etapa 1	Determinación de un área de Conservación de Fauna
	Etapa 2	Supervisión ambiental por parte de profesional
	Etapa 2	Difusión de información para la protección de fauna
Pérdida de individuos de fauna de interés y/o en categoría de conservación	Etapa 1	Charlas de medidas genéricas de protección de fauna a todo personal en faena o visita
	Etapa 2	Seguimiento a la efectividad de los ahuyentadores de aves en piletas de evaporación
Pérdida de individuos de quirópteros y avifauna por colisión y/o electrocución	Etapa 1 y 2	Instalación de dispositivos disuasores de vuelo o Antiposamiento
	Etapa 1	Monitoreo de Avifauna (catastro de comportamiento y colisiones)
Perturbación del hábitat	Etapa 1	Estudio de conectividad y desplazamiento poblacional de la especie de alta movilidad
	Etapa 2	Apoyo en campañas de esterilización de perros domésticos y/o vagabundos
	Etapa 1 y 5	Plan de rescate y relocalización de fauna
	Etapa 1 y 3	Cerco perimetral áreas de importancia ecológica de micromamíferos y zona de riesgos sanitarios
	Etapa 1	Medidas para reducir la afectación lumínica del Proyecto (Horarios, color, altura y orientación luminaria)
	Etapa 1	Plan Mejoramiento de hábitat (Instalación pircas u otros refugios para microfauna)
	Etapa 1, 2 y 5	Perturbación controlada
Ecosistema terrestre		
Efectos generales sobre ecosistemas terrestres	Etapa 1	Implementación capacitaciones y señalética
	Etapa 1	Circulación por caminos habilitados
	Etapa 2	Prohibición de actividades de riesgo y fuego
	Etapa 2	Delimitación de un área de compensación
Ecosistema Acuático		
Pérdida de individuos de fauna de interés y/o en categoría de conservación	Etapa 2	Replanteamiento de especies que constituyen banco natural de recursos hidrobiológicos
	Etapa 5	Plan de perturbación controlada de fauna marina
Alteración de las características físicas y químicas del agua de mar	Etapa 2 y 5	Monitoreo de las variables ambientales en el sector marítimo costero

Impacto asociado	Etapa	Nombre de medidas tipo
Alteración y/o modificación del hábitat fluvial con perjuicios sobre la flora y fauna acuática nativa	Etapa 1	Instalación de estructuras para hábitats acuáticos
	Etapa 1	Remoción de Depredadores al momento del rescate de fauna de interés
Medio Humano		
Alteración a las dinámicas de desplazamiento de los grupos humanos	Etapa 1	Reducir la alteración a las dinámicas de desplazamiento de los grupos humanos (Señalética, comunicación, control velocidad y horarios de desplazamiento)
Alteración en la calidad de vida de las personas por efecto sombra	Etapa 1	Programa de verificación y/o rectificación de efectividad de medidas implementadas por efecto sombra (Monitoreo de receptores y barreras complementarias artificial o vegetal)
Intervención y alteración de los sistemas de vida y costumbres del grupo humano	Etapa 2	Inducción socioambiental general para trabajadores
	Etapa 1 y 2	Generar y promover el empleo de trabajadores locales
	Etapa 1	Monitoreo Participativo (Plan de monitoreo comunitario del proyecto)
	Etapa 1	Protocolo de comunicación y relacionamiento entre Titular y grupos humanos
	Etapa 1	Política de buenas prácticas en la gestión de proveedores, contratistas y subcontratistas
	Etapa 2 y 5	Libre circulación de embarcaciones menores de pescadores, mariscadores y recolectores
Aire		
Aumento de las Emisiones Atmosféricas	Etapa 1, 2 y 3	Aplicación bischofita y medición de su eficiencia
	Etapa 1, 2 y 3	Instalación de señaléticas, charlas y mantenciones al día
	Etapa 1, 2 y 3	Humectación de caminos
	Etapa 5	Asfaltado de caminos no pavimentados
Alteración de los niveles de concentración de olor	Etapas 2 y 4	Medidas de seguimiento para el control de Olores (Encuesta de vecinos, monitoreos de olfatometría, monitoreos trimestrales)
	Etapas 2 y 4	Medidas específicas de abatimiento de olores (Implementación de Biofiltro, Cubiertas rígidas, etc.)
Residuos		
Aumento de la generación de residuos	Etapa 1 y 2	Manejo de residuos Peligrosos y No Peligrosos
	Etapa 1 y 2	Registro de entrada y salida de residuos y capacitación al personal
	Etapa 1 y 2	Tecnologías específicas para la mitigación eficiente de la generación de residuos (Cambio de tecnología de filtración tangencial)
Ruido y Vibraciones		

Impacto asociado	Etapas	Nombre de medidas tipo
Aumento de niveles de ruido	Etapas 1, 2, 3 y 5	Implementación de pantallas acústicas y medición de su eficiencia
	Etapas 1, 2, 3 y 5	Medidas de gestión para mitigación de ruido (Políticas silenciosas, buenas prácticas, horarios establecidos)
	Etapas 1, 2, 3 y 5	Monitoreo de ruido
Aumento de niveles de vibraciones	Etapas 1 y 2	Monitoreo de Vibración
Suelo		
Pérdida de suelo como sustento para la biodiversidad	Etapas 1	Recuperación o restauración de área intervenida con obras del proyecto
	Etapas 1	Recuperación o restauración de área intervenida con obras del proyecto
Pérdida de suelo agrícola	Etapas 1	Mejorar la capacidad de uso de suelo
	Etapas 1	Obras para mejorar sistemas de riego y aumentar disponibilidad de agua para cultivos
Alteración o degradación de propiedades del suelo	Etapas 1	Monitoreo de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo
	Etapas 1	Monitoreo de riesgo de erosión
Alteración o degradación del suelo	Etapas 1	Estabilización de taludes para evitar procesos erosivos
	Etapas 1	Zanjas de infiltración para control de erosión
Componente Hídrico		
Alteración y modificación de la cantidad o caudal de aguas superficiales (Cambio del régimen de caudales)	Cualquier etapas que presente actividades de extracción, descarga o modificación de recursos hídricos	Monitoreos (caudal; nivel freático; cuña salina; calidad de aguas subterráneas; calidad de aguas superficiales)
Alteración y modificación de la cantidad o nivel de las aguas subterráneas		Plan de alerta temprana
Alteración del nivel lagunar (Cambio o eliminación de un cuerpo de agua)		Barrera hidráulica
Alteración y modificación de la calidad de las aguas subterráneas		Control y encauzamiento de los afloramientos de agua subterránea y/o superficial
Alteración y modificación de la calidad de las aguas superficiales		Mantenimiento del caudal ambiental
Patrimonio		
	Etapas 1 y 5	Monitoreo Arqueológico Permanente

Impacto asociado	Etapas	Nombre de medidas tipo
Alteración de sitios y/o hallazgos arqueológicos y/o paleontológicos	Etapas 1	Plan de acción para situación de hallazgo arqueológico/paleontológico
	Etapas 1	Protección de sitios y/o hallazgos arqueológicos/paleontológicos
	Etapas 1 y 2	Rescate de elementos arqueológicos/paleontológicos
	Etapas 1	Charlas de inducción sobre el componente patrimonial
Pérdida de información del patrimonio cultural, arqueológico y/o paleontológico	Etapas 1	Plan de registro de hallazgos arqueológicos/paleontológicos
	Etapas 1 y 3	Análisis y depósito de elementos arqueológicos/paleontológicos
	Etapas 1	Difusión y puesta en valor del patrimonio

Fuente; Elaboración propia (Etapas 1 (ERNC), Etapas 2 (Producción), Etapas 3 (Acondicionamiento y Almacenamiento), Etapas 4 (Reconversión) y Etapas 5 (Transporte y distribución))

Estos insumos fueron presentados en el segundo taller con los OAECA, donde sirvieron de base para posteriormente realizar una categorización, definida por la priorización y caracterización de medidas eficaces.

5 Resultados

5.1 Resultados de la sistematización

Se revisaron y clasificaron los documentos de RCA asociados a EIA y DIA, distinguiendo entre aquellos digitalizados y escaneados. Esta separación respondió a la necesidad de evitar dificultades en el procesamiento automatizado de la información.

La primera etapa de la sistematización se aplicó a los documentos digitalizados, con el fin de testear el código base que permita extraer las medidas de forma automatizada, y realizar revisiones y ajustes de forma iterativa para extraer correctamente la mayor cantidad de información posible. En el caso de los documentos escaneados, se utilizaron los ICE vinculados a las respectivas RCA, y en el caso de documentos en formato web, se traspasaron a formato .pdf para aplicar el código de extracción de las medidas.

En los casos en que los documentos presentaron errores, el formato no fue reconocido o la estructura no cumplió con los criterios del código, fue necesario realizar una extracción manual de la información, equivalente al 39,4% del total (correspondiente a 193 RCA).

A continuación, se resume el total de documentos sobre los cuales se ejecutó la extracción correctamente y aquellos sobre los que fue necesaria la extracción manual.

Tabla 7 Total de documentos para los que fue posible extraer medidas de forma automatizada.

Tipo de documento	Tipo de medida	Extracción de medidas de forma automatizada	Extracción de medidas de forma manual	Total de documentos
EIA	Mitigación, Reparación, Compensación	22	15	37
EIA	CAV	24	13	37
DIA (RCA e ICE)	CAV	195	165	360
DIA (SIN CAV)	CAV	N/A	N/A	93
TOTAL		241	193	490

Fuente: Elaboración propia

Los campos de información extraídos fueron los siguientes:

- Para EIA - Medidas de mitigación, reparación, compensación: IdSea, página, nombre medida, tipo medida, componente ambiental, impacto asociado, objetivo, descripción y justificación, e indicador de cumplimiento.
- Para EIA - Compromisos Ambientales Voluntarios: IdSea, página, nombre medida, tipo medida, impacto asociado, objetivo, descripción y justificación.
- Para DIA - Compromisos Ambientales Voluntarios: IdSea, página, nombre medida, tipo de medida, impacto asociado, objetivo, descripción y justificación.

Para alcanzar la sistematización completa de los proyectos, el proceso se ha llevado a cabo de forma combinada, empleando métodos automáticos y manuales según la calidad y la estructura de los documentos.

A partir de esta información, se elaboró la Tabla 8, la cual resume el número de medidas ambientales sistematizadas según la etapa de la cadena de valor del hidrógeno verde (2.749 medidas), diferenciando entre medidas extraídas desde EIA (30% del total) y DIA (70% del total).

Tabla 8 Cantidad de medidas sistematizadas según las Etapas de la Cadena de Valor de H₂V

Etapas de la cadena de valor H₂V	Nº Medidas EIA	Nº Medidas DIA	TOTAL DE MEDIDAS
Etapas 1	645	1738	2383
Etapas 2	127	65	192
Etapas 3	0	52	52
Etapas 4	8	19	27
Etapas 5	39	56	95
Total de medidas	819	1930	2749

Fuente: Elaboración propia

El detalle de la sistematización de cada una de las medidas de los proyectos de las etapas de la cadena de valor del H₂V, con su respectiva descripción, se encuentra en el **Anexo 3**.

En una segunda etapa de la sistematización, se incorporó de manera manual un nuevo campo de clasificación, referido a la subcategoría de medida, de acuerdo con las categorías y subcategorías ambientales previamente definidas (ej. componente físico: control de erosión, monitoreo hídrico, control de emisiones atmosféricas, etc.).

Los resultados se presentan en la **Tabla 9**, la cual muestra el número de medidas clasificadas por subcategoría y por etapa de la cadena de valor. Esta organización permite identificar tanto tendencias como vacíos, destacando, por ejemplo, la ausencia de medidas asociadas a la componente Flora y Vegetación en la Etapa 3. Asimismo, se observa una marcada tendencia en los proyectos energéticos a concentrar sus compromisos en el componente humano, principalmente mediante beneficios a la comunidad, fomento del empleo local y mecanismos de relacionamiento comunitario, evidenciando cómo se aplican las medidas ambientales en los distintos segmentos del ciclo productivo.

Tabla 9 Cantidad de medidas según su subcategoría en proyectos de la Cadena de valor del H₂V

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	EIA					DIA				
		Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
Componente Físico	Caracterización y/o Monitoreo de Suelo	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0
	Control de efluentes líquidos	0	0	0	1	0	9	1	0	0	0
	Control de emisiones atmosféricas	9	1	0	3	4	126	2	3	2	1
	Control de erosión	3	3	0	0	0	5	0	0	0	1
	Control de ruido y vibraciones	3	2	0	0	0	22	0	2	0	0
	Mejoramiento o recuperación de suelo	17	0	0	0	0	98	0	1	0	1
	Monitoreo atmosférico	0	1	0	0	0	1	10	1	0	0
	Monitoreo hídrico	3	1	0	0	1	15	3	1	0	0
	Monitoreo ruido y vibraciones	10	0	0	0	0	48	1	2	0	2
Total Componente Físico		45	8	0	4	5	359	17	10	2	5
Ecosistema	Monitoreo ambiental	0	3	0	1	1	0	0	0	0	0
	Enriquecimiento ambiental	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Restauración y/o protección de ecosistemas	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Ecosistema		11	4	0	1	1	1	0	0	0	0
Fauna	Anticolisión y/o prevención de posado de avifauna	20	2	0	0	0	106	6	0	0	0
	Caracterización y/o monitoreo fauna	12	4	0	0	0	38	1	0	1	1
	Perturbación controlada	19	3	0	1	2	101	0	1	0	0

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	EIA					DIA				
		Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
	Rescate y relocalización	15	4	0	0	2	29	0	0	0	0
	Restauración y/o protección de hábitats	5	1	0	0	0	16	0	1	0	0
	Restauración y/o protección especies fauna	16	8	0	0	0	12	0	0	0	0
Total Fauna		87	22	0	1	4	302	7	2	1	1
Flora y vegetación	Monitoreo y manejo de flora y vegetación	1	0	0	0	0	9	0	0	0	0
	Rescate y relocalización	13	5	0	0	0	17	0	0	0	0
	Restauración y/o protección flora y vegetación	50	4	0	0	0	51	1	0	1	0
Total Flora y vegetación		64	9	0	0	0	77	1	0	1	0
Medio humano	Beneficio a la Comunidad	141	14	0	0	3	163	5	3	3	13
	Elaboración de Estudios Técnicos y/o Científicos	10	7	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fomento de Mano de Obra local	15	1	0	0	2	95	2	0	2	5
	Formas de Relacionamento Comunitario	47	15	0	0	5	115	5	9	2	8
Total Medio humano		213	37	0	0	10	373	12	12	7	26
Obra	Inducciones y/o Charlas	47	11	0	2	6	220	3	9	2	6
	Minimización de intervención	18	1	0	0	0	21	0	2	0	4
	Plan de gestión HSE	17	5	0	0	0	51	17	6	4	5
	Señalética	14	2	0	0	0	46	2	1	0	2

Categoría de la Medida	Subcategoría de la Medida	EIA					DIA				
		Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5	Etapas 1	Etapas 2	Etapas 3	Etapas 4	Etapas 5
	Transporte y vialidad	39	5	0	0	5	75	2	4	0	6
Total Obra		135	24	0	2	11	413	24	22	6	23
Paisaje y Turismo	Armonización visual	15	1	0	0	0	33	0	2	0	0
	Fomento de Turismo	3	0	0	0	0	4	3	1	0	1
	Paisajismo áreas verdes	5	4	0	0	0	3	0	0	0	0
Total Paisaje y Turismo		23	5	0	0	0	40	3	3	0	1
Patrimonio	Caracterización y/o monitoreo patrimonial	26	9	0	0	2	128	0	3	1	0
	Conservación patrimonial	19	3	0	0	5	40	1	0	0	0
	Puesta en valor de patrimonio	10	0	0	0	0	3	0	0	1	0
	Rescate cultural material	12	6	0	0	1	2	0	0	0	0
Total Patrimonio		67	18	0	0	8	173	1	3	2	0
TOTALES GENERALES		645	127	0	8	39	1738	65	52	19	56

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Resultado del taller 1 - (04/09/2025)

El Taller N°1, realizado el 4 de septiembre en modalidad online, permitió una primera revisión de medidas ambientales tomando como referencia las categorías y subcategorías definidas. A través de las mesas de trabajo se alcanzó a discutir en promedio tres subcategorías por grupo, identificándose ejemplos de medidas y valorando en qué medida podían considerarse eficaces.

De la discusión surgieron algunos puntos comunes:

- *La necesidad de contar con medios de verificación claros que permitan evaluar si la medida logra efectivamente el objetivo ambiental comprometido.*
- *La importancia de que las medidas incorporen indicadores cuantificables, evitando que el cumplimiento se reduzca solo a la ejecución de actividades.*
- *La observación de que en varias subcategorías se repiten medidas de carácter básico, lo que llevó a discutir si estas deben considerarse como eficaces o como requisitos mínimos de gestión ambiental.*
- *La identificación de ciertos ejemplos de medidas que, pese a estar correctamente formuladas, requieren ajustes o complementos para abordar integralmente los impactos.*

En síntesis, el taller 1 entregó un primer conjunto de apreciaciones técnicas respecto de la eficacia de distintas medidas lo que permitió orientar la discusión posterior y ajustar el enfoque del taller 2, en el que se abordaron directamente los impactos ambientales por componente y las medidas más representativas para cada caso.

5.3 Resultado del taller 2 - (10/09/25)

El taller presencial fue realizado el miércoles 10 de septiembre. Se trabajó en 4 grupos, de acuerdo con la competencia ambiental de cada OAECA indicadas a continuación:

- Mesa 1 (SMA y SEA) se trabajaron con los componentes: Medio Humano; Aire; Ruido y Vibraciones; Residuos.
- Mesa 2 (CONAF, SEA) se trabajó el componente: Flora y Vegetación.
- Mesa 3 (DGA) se trabajó el componente: Recurso Hídrico.
- Mesa 4 (MMA y SEA) se trabajaron los componentes: Fauna; Ecosistema Terrestre; Ecosistema Acuático.

En cada mesa se priorizaron los impactos por cada componente; luego se seleccionaron medidas por cada impacto; se priorizaron las medidas de cada impacto y; por último, se caracterizaron los contenidos mínimos que debiese tener una medida, para apuntar a ser eficaz.

Como cierre del taller, se llevó a cabo un plenario en el cual cada mesa compartió las observaciones más relevantes que surgieron a partir de la actividad. El resumen de los resultados más relevantes que se expuso en el plenario de ese día por cada componente se observa en la siguiente Tabla:

Tabla 10 Resultados del plenario del taller 10/09/2025

Componente	Impacto(s) principal(es)	Medida(s) destacada(s) por su eficacia	Observaciones del taller
Flora y vegetación	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de flora y vegetación. • Fragmentación de hábitats (es el impacto general, el cual abarca impactos tales como efecto borde, alteración de interacciones ecológicas, aislamiento de comunidades, etc.). 	Revegetación.	<ul style="list-style-type: none"> • Las medidas deben responder de forma directa al impacto y clasificarse según su naturaleza: mitigación, compensación, reparación o CAV. Por tanto, es necesario que los titulares tengan claro la naturaleza de su medida según las definiciones establecidas en la norma. • Los titulares deben asegurar la trazabilidad de las medidas. • Se debe aplicar la jerarquía medida-acción: <i>“actividades como rescate de cactáceas o bancos de semillas no son medidas, pero complementadas pueden constituir una medida”</i>. • El manejo adaptativo es clave, permite reemplazar o complementar medidas (Plan A-B-C) si no cumplen los objetivos en los plazos definidos, asegurando eficacia. • Por lo que se deberían proponer desde un comienzo medidas que contemplen alternativas en caso de que la primera no abarque el impacto como se contempló en un principio.
Medio humano	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración de los sistemas de vida y costumbres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo participativo. • Plan de gestión con comunidades. 	<ul style="list-style-type: none"> • El monitoreo y la gestión comunitaria deben integrarse en un mismo plan, evitando la fragmentación de instrumentos. En este ámbito, resulta relevante considerar la reciente incorporación del monitoreo participativo en el RSEIA, cuya implementación en las RCA deberá observarse en adelante. • Aplicar el principio de actualización para ajustar las medidas según cambios en el contexto social y cultural.
Aire	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de emisiones atmosféricas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asfaltado con mantención. • Aplicación de supresores de polvo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las medidas deben incluir un calendario de aplicación y mantención, especificando periodicidad y responsables. • Se deben establecer mecanismos de seguimiento verificables (ej. registro de aplicación con fecha y hora) que permitan demostrar eficacia.
Ruido y vibraciones	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones sonoras y vibraciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión. • Monitoreo. 	<ul style="list-style-type: none"> • La gestión y el monitoreo deben diseñarse como medidas complementarias e integradas, evitando acciones aisladas. • Los indicadores deben permitir verificar tanto la reducción en niveles de ruido como la eficacia de los programas de gestión.
Residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Generación y manejo de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gestiones operacionales e implementación de tecnologías orientadas 	<ul style="list-style-type: none"> • El cumplimiento normativo es una obligación mínima, no suficiente como medida ambiental. • Las medidas deben complementarse con tecnologías específicas de abatimiento según tipo de residuo.

Componente	Impacto(s) principal(es)	Medida(s) destacada(s) por su eficacia	Observaciones del taller
		a la disminución de residuos	<ul style="list-style-type: none"> El plan de seguimiento debe detallar: qué se monitorea, cómo se mide y con qué frecuencia. Es obligatorio definir indicadores claros e hitos verificables para demostrar cumplimiento. Diferenciar entre medida (estratégica) y actividad (operativa).
Recurso hídrico	<ul style="list-style-type: none"> Alteración del régimen de caudales. Cambio en los niveles de agua subterránea. Modificación de la red de drenaje. Alteración de cauces y riberas. Cambio en la calidad del agua (superficial y/o subterránea). 	<ul style="list-style-type: none"> Plan de alerta temprana. 	<ul style="list-style-type: none"> El monitoreo (caudal, nivel y/o calidad de recursos hídricos) es un requisito básico y mínimo para todo proyecto que considere actividades que puedan afectar a los recursos hídricos, en particular aquellos que implican su extracción, descarga o alteración. Respecto a los impactos, la DGA identifica en su Manual de normas y procedimientos para la conservación y protección de recursos hídricos, aprobado mediante Res. Exenta N°1752 del año 2023, 14 impactos sobre 5 componentes ambientales receptores, siendo estos últimos las aguas superficiales corrientes, aguas superficiales detenidas, aguas subterráneas, álveos y glaciares. Para el caso de los proyectos de la cadena de valor del H2V los impactos identificados fueron priorizados de acuerdo con su relevancia, destacando especialmente la alteración del régimen de caudales y variaciones en niveles de agua subterránea como los de mayor significancia. Una parte de los impactos conocidos sobre los recursos hídricos, son abordados a través del cumplimiento normativo, por estar asociados a la tramitación de Permisos Ambientales Sectoriales (PAS) o cumplimiento de normas de emisión, por lo que es esperable que no se desarrollen mayormente como medidas ambientales en el SEIA. Si bien se discuten otras medidas, tales como barreras hidráulicas y mantención de caudales, se determina como una medida eficaz los planes de alerta temprana (PAT). Se identifican desafíos para el diseño de los PAT, debiendo estos establecer umbrales claros, variables de control pertinentes y tiempos de respuesta adecuados al tipo de proyecto. Se identificó que, para esta componente, es indispensable la coordinación entre titulares de proyectos que comparten áreas de influencia, para evitar desfases en la activación de alertas y plantear medidas de acción comunes.

Componente	Impacto(s) principal(es)	Medida(s) destacada(s) por su eficacia	Observaciones del taller
Fauna	<ul style="list-style-type: none"> Colisiones fauna voladora Pérdida y fragmentación de hábitats. 	<ul style="list-style-type: none"> Detención programada de aerogeneradores. Plan de mejoramiento y enriquecimiento de hábitats. 	<ul style="list-style-type: none"> La línea base debe ser lo suficientemente detallada para identificar puntos críticos y definir umbrales de impacto, especialmente respecto a rutas de vuelo. Las medidas deben incluir monitoreos contrastables con predicciones teóricas (ej. número estimado de colisiones vs. colisiones observadas). Se recomienda medidas como disuasores, ahuyentadores, detenciones programadas, bajo un enfoque de manejo adaptativo que permita ajustes periódicos (de forma similar a los PAT de recursos hídricos). La zonificación del proyecto delimita el alcance de las medidas; no puede ser modificada a posteriori.
Ecosistema terrestre	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de componentes bióticos y abióticos. 	<ul style="list-style-type: none"> Enriquecimiento de hábitats. 	<ul style="list-style-type: none"> Las medidas deben formularse de manera específica para cada proyecto y contar con indicadores cuantificables que integren componentes bióticos y abióticos. El enriquecimiento de hábitats es una medida central para restaurar la funcionalidad ecológica.
Ecosistema Acuático	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida de individuos de interés y/o en categoría de conservación. Alteración y/o modificación del hábitat acuático. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejoramiento de hábitat acuático. 	<ul style="list-style-type: none"> No se observan medidas tan diferentes (en lo conceptual) a las aplicadas en ecosistemas terrestres. Se identifican medidas que consideran la captura y reproducción ex situ de especies de la cadena trófica (larvas, crustáceos, moluscos, entre otros), con el propósito de devolver posteriormente estos organismos al ambiente acuático. La finalidad de estas acciones se entiende como una forma de reposición de la biomasa afectada por el proyecto, lo que a su vez puede contribuir al mejoramiento del hábitat acuático en términos de disponibilidad de recursos. Se conversa sobre la definición de zonas de exclusión para el resguardo de especies de interés hidrobiológico.

Fuente: Elaboración propia

A partir de las discusiones realizadas en el taller se identificaron los siguientes elementos relevantes:

- Se destacó que el análisis debe enfocarse en la eficacia real de las medidas y no solo en su implementación formal. En la práctica, tanto en los informes de seguimiento ambiental reportados a la SMA como en la experiencia de los OAECA, se observa que el cumplimiento se ha verificado principalmente a partir de la ejecución de actividades, más que en la evaluación del estado de la variable ambiental. Esto ha significado que la información disponible resulte limitada para verificar la eficacia en relación con el impacto que dio origen a la medida, situación que obedece tanto al énfasis en el diseño aprobado de las medidas como a la forma en que los titulares reportan sus compromisos.
- Se evidenció que existen propuestas que presentan actividades como si fueran medidas ambientales, lo cual genera confusión. Una medida puede estar conformada por una o más actividades, pero las actividades por sí solas no abordan de manera integral un impacto ambiental. Esta diferencia, que establece una jerarquía conceptual entre medidas y actividades, fue destacada como un aspecto clave para asegurar que el diseño de las medidas sea pertinente y eficaz.
- También se discutió la relevancia del principio de mínima intervención en el diseño de proyectos. Si bien corresponde más a un criterio de diseño que a una medida en sentido estricto, su consideración explícita durante la evaluación ambiental se valoró como un elemento que aporta a fundamentar la coherencia ambiental de los proyectos.
- Se destacó la necesidad de incorporar enfoques de gestión adaptativa, que permitan actualizar y ajustar las medidas en función del avance del proyecto o de cambios en el contexto ambiental. Aunque los titulares no pueden modificar unilateralmente las medidas aprobadas, sí es posible prever mecanismos de ajuste a través de pronunciamientos de los OAECA, lo que otorgaría mayor flexibilidad sin perder trazabilidad administrativa. En casos de aplicarse esta figura y que durante su desarrollo se realicen ajustes validados por un OAECA o autoridad evaluadora, siempre se deberá contar con un pronunciamiento o acto formal que deberá ser puesto en conocimiento de la SMA para su respectiva consideración en el marco del seguimiento, fiscalización y eventual sanción.
- En todas las mesas se identificaron medidas que, si bien resultan útiles, no califican como medidas eficaces, ya que corresponden a mínimos de gestión ambiental que todo proyecto debiera realizar. Entre ellas se mencionaron acciones como capacitaciones a trabajadores, instalación de señalética ambiental o la ejecución de monitoreos básicos.
- Finalmente, hubo consenso en que no deben considerarse como medidas eficaces aquellas que se limitan a dar cumplimiento a exigencias normativas o permisos sectoriales, ya que ello constituye obligaciones legales básicas más que compromisos adicionales orientados a la gestión de impactos.

6 Discusión

A continuación, se exponen los principales elementos presentados en la sistematización y propuesta de medidas eficaces, los cuales corresponden tanto a aspectos formales (referidos a limitantes para realizar el trabajo en forma automatizada) como de fondo, en términos del marco conceptual para definir y evaluar la eficacia de medidas ambientales.

Considerando lo anterior, se exponen en forma detallada cada una de ellas.

6.1 Limitantes detectadas

6.1.1 Evolución de la estructura de las RCA y medidas

El análisis de la evolución en la estructura de las RCA resulta fundamental para comprender cómo han cambiado las formas de presentar y sistematizar las medidas ambientales en el tiempo. Estos cambios reflejan tanto la adaptación de la normativa como el aumento de la complejidad de los proyectos evaluados, condicionando la manera en que se formulan, registran y fiscalizan los compromisos ambientales.

Si bien esta encrucijada fue parcialmente subsanada al considerar sólo RCA desde diciembre del año 2014, resulta relevante destacar la evolución en el tiempo que han experimentado tales instrumentos, tanto en su estructura como extensión. Al respecto, cabe recordar que, en sus primeras etapas, las RCA tenían un formato breve, con documentos que resumían los resultados del procedimiento administrativo en reducidas páginas. Con el tiempo, las autorizaciones han alcanzado extensiones de páginas, dando muestra de la mayor complejidad de los proyectos, con la necesidad de detallar antecedentes técnicos y normativos, lo que aumenta los estándares utilizados. Sin embargo, este aumento de extensión ha generado dificultades en su revisión y seguimiento.

En consonancia, las medidas ambientales también evolucionaron, observándose inicialmente que éstas se presentaban de forma narrativa y poco estandarizada, dificultando con ello su interpretación y posterior fiscalización. En este sentido, y con el fin de corregir dicha brecha, desde el año 2013 comenzaron a incorporarse tablas a las RCA, que se consolidaron durante el periodo 2014 - 2015, gracias a lineamientos del SEA, representando un avance en claridad y trazabilidad.²

No obstante, se observa que permanecen espacios de mejora, tanto en la uniformidad de la estructura de las RCA como en el contenido de cada sección. Al respecto, pese a que las tablas ordenan la información, la extensión y heterogeneidad de estas últimas, se constatan brechas en el diseño y descripción de las medidas ambientales, observándose por ejemplo, tablas dentro de tablas; figuras esquemáticas; medidas poco detalladas que referencian a un anexo con el detalle específico; información que se funde en un solo campo y no permite una adecuada diferenciación entre el objetivo, descripción y forma de implementación; falta de precisión en los indicadores de eficacia de la medida; múltiples medidas que se consolidan en una sola o al contrario, múltiples acciones que por sí solas no responden al objetivo de abordar al impacto y que sobreestime la cantidad de “medidas” presentadas; entre otros. En consecuencia, si bien la evolución de los instrumentos ha favorecido la transparencia y sistematización, plantea nuevos desafíos en torno a avanzar en claridad, accesibilidad y aplicabilidad de estos.

6.1.2 Problemáticas detectadas en la sistematización

De manera más precisa, en el marco del proceso de revisión y sistematización automatizada, se identificaron distintas problemáticas asociadas a la documentación disponible. Entre las más relevantes se destacan las siguientes:

² Servicio de Evaluación Ambiental (SEA): desde el 21 de julio de 2015 entró en vigor un nuevo formato de Resolución de Calificación Ambiental (RCA), que ordena de manera sistemática los temas y capítulos. Esto permite que los elementos exigidos por normativa estén explícitamente presentes en la RCA, facilitando los procesos de evaluación y fiscalización. [SEA.2015](#)

- Encabezados fuera o dentro de la tabla.
- Términos de campos clave dentro de los valores de la tabla.
- Totalidad de medidas en una sola tabla y no en tablas separadas.
- Tablas dentro de tablas de medidas.
- Medidas sin formato de tabla reconocible.
- Encabezados y pies de página en documentos en formato texto o tabla.

Para solucionar lo anterior, en el proceso iterativo de revisión de resultados y ajuste de los códigos elaborados, se incluyeron condiciones específicas para subsanar la mayoría de estas dificultades. No obstante, varios casos correspondían a excepciones puntuales de los documentos y no a patrones generales distinguibles. En este contexto, se recomienda considerar como una de las principales limitantes el alto número de RCA escaneadas, que asciende a casi un cuarto del total de instrumentos objeto de análisis (23,9%).

6.1.3 Problemáticas Detectadas en la Categorización de la Sistematización

Sumado a lo anterior, durante el proceso de sistematización de las medidas provenientes de los EIA y DIA se han identificado una serie de limitaciones, que dificultan la categorización y la construcción de subcategorías de análisis. Estas problemáticas se resumen en los siguientes aspectos:

- Ausencia de estandarización en la denominación de medidas:** Se observa que los nombres de las medidas no siguen un criterio homogéneo. En muchos casos, el título no refleja de manera precisa su objetivo ambiental, lo que genera ambigüedad al momento de clasificarlas. Un ejemplo de ello es la medida de *Anticollisión y/o prevención de posado de avifauna*, que puede encontrarse bajo denominaciones tan dispares como “instalación de disuasores de vuelo” o “instalación de banderines de colores para evitar la electrocución de aves”. Si bien ambas apuntan al mismo objetivo, presentan nombres completamente diferentes. Esta falta de estandarización dificulta, por ejemplo, la aplicación de filtros automáticos para agrupar medidas según componentes ambientales como flora, fauna, agua o aire.
- Inconsistencias en la referencia a componentes ambientales:** En diversas Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), los compromisos ambientales voluntarios (CAV) y algunas medidas no presentan una referencia explícita al componente ambiental afectado. Un ejemplo de ello son las medidas de *Perturbación controlada*: en el caso de cururos, se asocian al componente *Animales silvestres*, mientras que para reptiles y micromamíferos se registran bajo el componente *Fauna terrestre*. Pese a que ambas persiguen el mismo objetivo de proteger la fauna, la falta de criterios uniformes en su clasificación genera inconsistencias. Esta ausencia de una asociación clara dificulta establecer agrupamientos confiables por componente, lo que a su vez limita la posibilidad de realizar análisis comparativos.
- Heterogeneidad en la definición de fases del proyecto:** No existe uniformidad en la descripción de las fases de aplicación de las medidas. Se identifican múltiples variantes como “construcción–operación”, “antes de construcción”, “antes de operación” u “operación–cierre”, siendo estos solo algunos ejemplos, lo que dificulta generar categorías comunes que permitan una lectura transversal de los proyectos.

6.1.4 Concepto de medida ambiental

El análisis centrado en los impactos ambientales y componentes afectados de los proyectos planteó la necesidad de precisar el concepto de medida ambiental y diferenciar los distintos tipos que se definen en los proyectos.

- Medidas de mitigación, reparación y compensación, que abordan directamente los impactos identificados.
- Compromisos ambientales voluntarios, que son medidas complementarias y pueden o no responder a los impactos identificados.
- Medidas asociadas al cumplimiento normativo, considera acciones que deben ejecutarse de forma obligatoria y no debieran formar parte de las medidas anteriores. Un ejemplo de ello son algunos

compromisos ambientales voluntarios que se plantean respecto al componente de residuos, en los cuales se establece la disposición de residuos peligrosos conforme a la normativa aplicable.

Por otro lado, se planteó la necesidad de diferenciar una medida ambiental de una actividad o acción relacionada a la misma. Por ejemplo, actividades de rescate no debieran ser consideradas una medida en sí misma, sino que debieran ser parte de una medida que las reúna en pos del cumplimiento de un objetivo, dado que por sí sola no tiene sentido si no se genera de forma posterior la recuperación de la vegetación que se pierde con el proyecto. De la misma forma, las capacitaciones puntuales e instalación de señaléticas debieran formar parte de medidas de protección de flora y fauna (o de otros componentes según corresponda) y no proponerse como medidas independientes.

En ese sentido, tal como fue señalado precedentemente en el capítulo de resultados del taller, se propuso como elemento que diferencia “actividad” y “medida”, que las actividades corresponden a tareas que por sí misma no permiten abordar completamente el impacto ambiental asociado, por el contrario, si una o un conjunto de actividades tienen la capacidad de abordar el impacto ambiental asociado, pueden ser denominadas como “medidas”, estableciéndose una jerarquía entre el concepto de “Medida” y “actividad”.

En base a lo señalado, se indica que una medida eficaz no se reduce a la realización de acciones puntuales, sino que debe estructurarse como un conjunto coherente de actividades articuladas en torno a un objetivo ambiental, con indicadores que permitan evaluar tanto la eficacia de cada acción que compone la medida como el impacto global que se busca abordar, incorporando además mecanismo de seguimiento verificables.

6.1.5 Diseño e implementación de las medidas

Durante el desarrollo de este estudio se ha discutido respecto a la definición operativa y forma de evaluar la eficacia de las medidas ambientales. Si bien se ha entendido eficacia como la capacidad de cumplir efectivamente con el objetivo ambiental para el cual fue diseñada, desde un punto de vista práctico, esto sólo podría ser verificable si se cumplen condiciones o requisitos específicos respecto al diseño, implementación y seguimiento de las medidas.

Respecto al diseño, tras la sistematización realizada se observó que en varios casos medidas que, apuntando al mismo objetivo ambiental, son descritas con distinto nivel de detalle y completitud. En otros, se presentan indicadores asociados a la ejecución de las actividades más que al cumplimiento del objetivo y para varias medidas el nombre definido no se corresponde con el impacto identificado y su objetivo y descripción no es lo suficientemente clara o detallada para comprender de qué se trata la medida en particular. Lo anterior genera dificultades para sistematizar la información, realizar análisis comparado de las medidas e identificar con claridad sus actividades, indicadores y medios de verificación.

Por lo anterior, se plantea la necesidad de establecer estructuras y requisitos mínimos para el diseño de las medidas que permitan homogeneizar el contenido y asegurar descripciones precisas de sus objetivos, alcance, actividades y horizonte de implementación e indicadores y medios de verificación a entregar. Uno de los puntos más destacados en la discusión de los talleres fue la importancia de definir indicadores de seguimiento claros y bien delimitados, que no solo permitan evaluar realmente si la medida está cumpliendo el objetivo deseado y está abordando o no los impactos identificados, sino que también aseguren su fiscalización efectiva por parte de la autoridad.

Algunos de los aspectos que se debieran abordar con gestión o manejo adaptativo son los siguientes:

- Selección de alternativas de sitios para la implementación de las medidas ante potenciales dificultades para acceder a ellos o condiciones climáticas o limitaciones de recursos que impidan su uso.
- Definición de umbrales que determinen diferentes cursos de acción, de manera similar a los planes de alerta temprana para el monitoreo y gestión de recursos hídricos. Por ejemplo, se pueden determinar umbrales de porcentaje de sobrevivencia de individuos de flora que determinen un cambio de sitio o acciones adicionales de mejoramiento de suelo.

- Consideraciones climáticas, especialmente respecto a la disponibilidad del recurso hídrico y variaciones de temperatura que determinan alternativas de implementación de las medidas.

La definición de alternativas y la flexibilidad con que se determinan las medidas permitiría abordar varios de los problemas de implementación discutidos en los talleres, generando los ajustes necesarios para lograr los objetivos de cada medida.

6.1.6 Seguimiento y fiscalización de las medidas

Respecto al seguimiento y fiscalización de las medidas por parte de las autoridades competentes, se debe contar con indicadores bien definidos, medios de verificación adecuados en forma y fondo y un plan de seguimiento realista factible de ejecutar por parte del titular. Un aspecto clave planteado en los talleres es que sólo se puede realizar el seguimiento y fiscalizar sobre aquello que está indicado en las respectivas RCA. Es por ello que, la forma y nivel de detalle con que se definen las medidas, especialmente respecto a sus indicadores y medios de verificación, determina el alcance de las materias a fiscalizar.

La calidad de los medios de verificación que se entregan determina también la capacidad de fiscalización por parte de la autoridad. Es necesario contar por una parte con parámetros claros y objetivos, como también de registros completos y oportunos que permitan a los actores pertinentes verificar el cumplimiento de los indicadores de forma objetiva, trazable y con evidencia documentada.

En particular, se relevó en los talleres, las dificultades que impone para la autoridad respectiva, la falta de trazabilidad de la información de seguimiento de las medidas. Se plantearon casos en que los antecedentes definidos a la RCA difieren de aquellos indicados en los respectivos informes de seguimiento o existen ajustes no explicados en informes previos como, por ejemplo, aspectos metodológicos, individuos y especies involucradas, infraestructura y/o puntos de monitoreo que difieren, alcance de las actividades, entre otros. Las dificultades asociadas a este aspecto dificultan tanto la fiscalización por parte de la autoridad como el seguimiento y reporte por parte del titular.

6.1.7 Replicabilidad de las medidas

Un desafío identificado es definir hasta qué punto una medida eficaz puede ser replicada en distintos proyectos y etapas de la cadena de valor del hidrógeno verde. La replicabilidad no debe asumirse automáticamente; dependerá de factores como el tipo de proyecto, la localización geográfica, la sensibilidad ambiental del área y las condiciones sociales del territorio. Por ello, se plantea la necesidad de desarrollar criterios comunes que permitan evaluar en qué condiciones una medida puede ser transferida exitosamente a otros contextos.

7 Propuestas de medidas eficaces

En concordancia con los objetivos del estudio, y a partir del proceso de sistematización y análisis de medidas ambientales y la discusión y validación con los OAECA en el marco de los talleres, se elaboró una propuesta inicial de medidas eficaces tipo.

Estas medidas se estructuran por impacto y componente ambiental afectado, señalando su objetivo, descripción general, indicadores y medios de verificación que permitan evaluar el cumplimiento de los objetivos.

La selección final se definió principalmente a partir de los resultados del segundo taller participativo, instancia en la que se identificaron medidas de forma explícita, se refinaron otras y se descartaron aquellas con menor nivel de consenso técnico. A ello se incorporó la experiencia profesional del equipo consultor, alcanzándose finalmente la compilación y propuesta de diecinueve (19) medidas eficaces, número que refleja el resultado consensuado del proceso de validación interinstitucional y técnica.

Tabla 11 Medida N°1 - Ecosistema terrestre y acuático - Enriquecimiento de hábitat

Medida N°1: Enriquecimiento de hábitats	
Impacto	Alteración, perturbación, fragmentación, pérdida y/o modificación de ecosistemas
Componente	<ul style="list-style-type: none"> • Ecosistema Terrestre • Ecosistema Acuático
Objetivo	Promover el incremento y la mantención de la diversidad biológica mediante acciones que mejoren la calidad y funcionalidad de los ecosistemas presentes en las áreas definidas a enriquecer.
Descripción	<p>La medida contempla la implementación de acciones que favorezcan la calidad y funcionalidad de los ecosistemas en las áreas definidas para su enriquecimiento. Para ello, se establecerá un área de intervención y un área de control, esta última correspondiente a un sector natural no intervenido, que permita contar con una línea base comparativa para el seguimiento y evaluación de la eficacia de la medida.</p> <p>De acuerdo con las características del ecosistema, la composición de especies y el tipo de vegetación presente, se incluyen las siguientes acciones específicas de enriquecimiento:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la cobertura vegetal con especies nativas: Revegetación y restauración estructural vegetal con la introducción de especies nativas, priorizando aquellas de importancia ecológica, cultural o en categoría de conservación. Por otro lado, la protección de plántulas y regeneración natural, mediante cercado u otras medidas que reduzcan presiones antrópicas (pastoreo, tránsito, extracción). • Refugios para fauna: Incorporación de elementos que incrementen la disponibilidad de hábitat y microhábitats (troncos, rocas, nidos artificiales, refugios subterráneos), y mejoramiento de la oferta de recursos tróficos y de agua en función de las especies presentes. • Mejora de la conectividad ecológica a través de la restauración de áreas degradadas o fragmentadas y el diseño de corredores biológicos que permitan el flujo de especies y de material genético. • En ecosistemas acuáticos (cuando corresponda): Restauración de vegetación ribereña para estabilizar márgenes y mejorar la calidad del hábitat, instalación de refugios sumergidos (troncos, piedras, estructuras naturales) para especies acuáticas. Control de sedimentos, mantención de caudales ecológicos y reducción de fuentes de contaminación. • Acciones complementarias: Control de especies exóticas o invasoras, mejoramiento de suelos y resguardo de áreas sensibles frente a impactos antrópicos o al cambio climático. <p>Su implementación requerirá de un horizonte de evaluación de corto plazo (2-3 años) con un monitoreo semestral para el primer año y anual desde el segundo año, para darle seguimiento a la supervivencia de especies plantadas, control de especies exóticas o invasoras, uso inicial de refugios, estabilidad de márgenes de vegetación ribereña y estabilidad de suelos. En el mediano plazo (5 años) darle seguimiento al incremento de riqueza y abundancia de especies, colonización de microhábitats, y primeros corredores funcionales. Y finalmente, a largo plazo (10 años) darle monitoreo a la consolidación de la conectividad ecológica y mejoramiento integral de la funcionalidad ecosistémica.</p>

Medida N°1: Enriquecimiento de hábitats	
	<p>Por lo que, un programa de monitoreo adaptativo permitirá evaluar la eficacia de la medida con indicadores definidos para flora, fauna, cobertura vegetal, conectividad ecológica y, en ambientes acuáticos, calidad físico-química del agua.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Los indicadores de eficacia dependen del componente que se aborde y del tipo de ecosistema a enriquecer, pudiendo ser: • Planos georreferenciados de sectores intervenidos a enriquecer. • Porcentaje de prendimiento de los individuos plantados $\geq 75\%$ a partir de los 2 años posteriores a la plantación considerando monitoreos anuales. • Incremento de la cobertura vegetal $\geq 75\%$ del sitio de referencia a los 2 años para ecosistemas terrestres. • Uso efectivo de refugios $\geq 50\%$ a partir del segundo año. • Uso efectivo de los corredores ecológicos $\geq 50\%$ al quinto año. • Incremento del $\geq 20\%$ de la riqueza y abundancia de especies respecto a la línea base al quinto año. • Incremento $\geq 15\%$ en el contenido de materia orgánica del suelo (MOS) respecto a la línea base al tercer año. • Mejoramiento de características físicoquímicas del $\geq 20\%$ de la columna de agua y sedimentos (Ecosistema acuático) respecto a la línea base en un plazo de 3 años.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informes de monitoreo de biodiversidad comparativos (áreas intervenidas y áreas de control). • Mapas de cobertura y fragmentación de hábitats elaborados con imágenes satelitales, drones o SIG. • Registros georreferenciados de uso de refugios y recursos por fauna, como lo son las cámaras trampa, rastreo de huellas y observación directa. • Informe evaluación de indicadores de funcionalidad ecológica, incluyendo presencia/ausencia de especies de interés y área (%) de regeneración natural de especies nativas en relación con la caracterización de la línea de base. • Informe de los cambios cuantificables en la calidad del hábitat (cobertura, diversidad estructural, conectividad) en relación con la caracterización de la línea de base, con resultados cuantitativos, mapas y fotografías georreferenciadas que respalden el cambio.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Medida N°2 – Ecosistema Terrestre y Acuático – Creación de áreas de exclusión

Medida N°2: Creación de áreas de exclusión	
Impacto	Alteración, perturbación, fragmentación, pérdida y/o modificación de hábitat
Componente	<ul style="list-style-type: none"> • Ecosistema Terrestre • Ecosistema Acuático
Objetivo	Proteger y conservar hábitats críticos y especies de interés dentro del área del proyecto, minimizando los impactos asociados a la alteración, perturbación, fragmentación, pérdida y/o modificación de ecosistemas, y asegurando la conectividad ecológica.
Descripción	<p>Se establecerán áreas de exclusión dentro del área del proyecto con el objetivo de resguardar sectores de valor ambiental relevante, tales como zonas de alta biodiversidad, hábitats críticos para especies nativas y/o en categoría de conservación, corredores biológicos y sitios de reproducción o alimentación.</p> <p>Estas áreas serán georreferenciadas y delimitadas mediante señalética visible y barreras físicas de bajo impacto, cuya tipología se definirá según las características de la especie de interés, de manera que no se vea afectada su movilidad ni la de otras especies presentes en el ecosistema. Las áreas de exclusión quedarán expresamente restringidas a cualquier actividad del proyecto, incluyendo construcción, operación y tránsito de personal o maquinaria.</p> <p>Para asegurar el conocimiento y cumplimiento de estas restricciones, se implementarán charlas e inducciones periódicas dirigidas a todo el personal del proyecto, detallando los usos permitidos y las limitaciones dentro de las áreas de exclusión.</p> <p>La medida contempla un monitoreo activo de las especies de interés, de especies asociadas y del medio físico, con una frecuencia periódica definida (por ejemplo, trimestral o semestral, según criterios técnicos y características de la especie). Este monitoreo permitirá evaluar el estado de conservación de los hábitats y la presencia y bienestar de las especies a lo largo del tiempo, proporcionando información para ajustar medidas de manejo adicionales en caso de detectarse cambios adversos en el ecosistema.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • 100% del personal capacitado que conoce los usos y restricciones de las áreas de exclusión. • 100% de la superficie efectiva de hábitat preservado sin alteraciones respecto a la línea base. • Incremento del $\geq 20\%$ de los indicadores de abundancia, densidad y presencia/ausencia para especies en estado de conservación, especies de interés y especies asociadas, respecto de la caracterización de la línea de base
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Planos georreferenciados y registros de delimitación de las áreas de exclusión. • Informes técnicos de instalación y de mantención de señalética y barreras físicas en las áreas de exclusión, con respaldo fotográfico y georreferenciado. Los reportes deberán elaborarse con frecuencia y periodicidad previamente definida (por ejemplo, revisiones semestrales o anuales), indicando además el horizonte de evaluación comprometido en función de la vida útil de las medidas y de las etapas del proyecto.

Medida N°2: Creación de áreas de exclusión

	<ul style="list-style-type: none"> • Registros fotográficos fechados y georreferenciados e informes de inspección en terreno que evidencien la integridad de las áreas. • Listados y registros de asistencia firmados a charlas e inducciones, incluyendo contenidos, fotografías georreferenciadas y temáticas impartidas. • Informes de monitoreo de las especies de interés en la zona de exclusión, incluyendo abundancia, densidad, presencia/ausencia y estado del hábitat. Estos deben incluir un análisis del comportamiento de la especie a lo largo del tiempo. Lo que requerirá de un horizonte de evaluación de 3 años con un monitoreo semestral para el primer año y anual desde el segundo año,
--	---

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 13 Medida N°3 – Flora y vegetación – Control de especies invasoras**

Medida N°3: Control de especies invasoras	
Impacto	Deterioro y/o afectación de flora y vegetación
Componente	Flora y Vegetación
Objetivo	Prevenir y reducir la proliferación y expansión de especies exóticas e invasoras en el área de intervención y en los bosques remanentes, asegurando la recuperación de la composición, estructura y funcionalidad de la vegetación nativa.
Descripción	<p>La medida contempla la identificación, eliminación, manejo y control periódico de especies exóticas e invasoras presentes en el área intervenida y zonas adyacentes con énfasis en sectores de bosque nativo.</p> <p>El control se realizará en los dos primeros años de forma semestral o trimestral y posterior a los dos años de forma anual, mediante métodos manuales, mecánicos o químicos, de acuerdo con la especie, las condiciones del sitio y siempre conforme a la normativa vigente como la Estrategia Nacional Integrada para la Prevención, el Control y/o Erradicación de las Especies Exóticas Invasoras (2014) y las características del área. La implementación contempla:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo semestral de presencia y cobertura de invasoras durante los dos primeros años, y anual desde el tercer año. • Eliminación segura y disposición adecuada de residuos vegetales de especies invasoras para evitar rebrotes o dispersión. • Reposición con especies nativas locales en las áreas liberadas, favoreciendo la restauración de la cobertura natural. • Capacitación del personal en identificación de invasoras, métodos de control y normas de bioseguridad. • Evaluación continua para evitar efectos adversos sobre especies nativas y suelos. <p>Asimismo, la medida requiere de equipos de trabajo responsables de la eliminación, con el fin de asegurar la correcta aplicación de los métodos de control, el cumplimiento normativo y la protección de los componentes del ecosistema nativo.</p>

Medida N°3: Control de especies invasoras	
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener la cobertura de especies exóticas e invasoras en %5% en el área total monitoreada al tercer año. • Incremento en la regeneración natural o plantación exitosa de especies nativas en $\geq 75\%$ de las áreas liberadas al tercer año. • Evidencia de recuperación de la estructura vegetal de los sitios liberados en comparación con sitios de referencia.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de monitoreo de estimación de cobertura de especies exóticas e invasoras con un horizonte de evaluación de al menos tres años consecutivos, con informes semestrales durante los dos primeros años y un informe anual en el tercer año. En caso de detectar persistencia de invasoras o reinfestación significativa, el monitoreo y control se extenderán hasta cinco años para asegurar la eficacia de la medida, e incluir registros fotográficos y planos georreferenciados. • Informe registros técnicos de eliminación: superficie intervenida, métodos aplicados y frecuencia de control. • Informe con los reportes de restauración de las especies nativas en áreas liberadas. • Informe de manejo de residuos vegetales provenientes de especies exóticas e invasoras.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Medida N°4 - Flora y vegetación - Plantación por pérdida de cobertura vegetación (a nivel de individuos y a nivel de área o cobertura)

Medida N°4: Plantación por pérdida de cobertura de vegetación (a nivel de individuos y a nivel de área o cobertura)	
Impacto	Pérdida de flora y vegetación
Componente	Flora y Vegetación
Objetivo	Compensar la pérdida de estructura, composición y funciones ecológicas de la vegetación intervenida por el proyecto, mediante acciones de enriquecimiento en un área de compensación equivalente o superior, asegurando la conservación del material genético local y la recuperación de la biodiversidad.
Descripción	<p>La medida consiste en la plantación y enriquecimiento del área de compensación seleccionada, empleando especies nativas equivalentes o superiores a las intervenidas (en cantidad, densidad, composición y funcionalidad), tomando como referencia sitios locales para definir metas cuantitativas. El diseño de plantación considerará atributos como riqueza, densidad, proporción de especies y estratos vegetacionales, con el fin de reproducir la estructura y composición original. Se declarará el método de siembra/plantación, el calendario con plazos óptimos de ejecución y los responsables de la capacitación y ejecución.</p> <p>La implementación contemplará acciones de manejo previo del área de compensación, como la eliminación de especies exóticas invasoras y la mejora de las condiciones del suelo. Asimismo, se realizará el rescate de germoplasma (semillas, estacas o plántulas) de los individuos afectados, destinado a viverización y posterior uso en la compensación. Durante la plantación, se incorporarán medidas de protección física, tales como</p>

Medida N°4: Plantación por pérdida de cobertura de vegetación (a nivel de individuos y a nivel de área o cobertura)	
	<p>cercado perimetral, señalética de reconocimiento y protectores individuales, además del control de herbívoros (ej. lagomorfos), para asegurar el establecimiento y la supervivencia de las especies.</p> <p>El plan de monitoreo será híbrido, combinando trabajo en parcelas permanentes y seguimiento mediante SIG, para verificar cobertura, supervivencia y cambios en la estructura. Se contempla un monitoreo anual de al menos dos años, con revisiones semestrales en los dos primeros años (etapa crítica por prendimiento, herbivoría, sequía o plagas) y monitoreos anuales posteriores, salvo en caso de eventos de riesgo (sequías extremas, incendios, etc.).</p> <p>En su diseño y ejecución, esta medida deberá considerar los criterios técnicos y metodológicos actualmente vigentes para la compensación de biodiversidad, establecidos en la Guía Metodológica del SEA, así como las exigencias que introducirá el futuro Reglamento de Compensación de Biodiversidad en el marco de la Ley N° 21.600, que incrementará los estándares en materia de trazabilidad, indicadores de eficacia y mecanismos de verificación de resultados respondan a estándares de trazabilidad, indicadores de eficacia y mecanismos de seguimiento progresivo que permitan su verificación en el tiempo.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de prendimiento de los individuos plantados 100% a partir de los 2 años posteriores a la plantación considerando monitoreos anuales. • Estado fitosanitario $\geq 80\%$ de individuos plantados vigoroso (follaje verde, sin plagas ni enfermedades) para cada especie intervenida por el proyecto • Cobertura y densidad vegetal $\geq 75\%$ del sitio de referencia a los 2 años, con tendencia positiva hacia la similitud estructural. • Composición específica $\geq 60\%$ de similitud con la comunidad de referencia al tercer año. • Ausencia o control de exóticas invasoras en el área de compensación ($< 10\%$ de cobertura).
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de monitoreo del prendimiento y estado fitosanitario de los individuos plantados, acompañado de fotografías fechadas y georreferenciadas. El informe deberá indicar la frecuencia de los monitoreos y contemplar un seguimiento más detallado durante las etapas iniciales de la plantación, con el fin de verificar oportunamente el comportamiento de la vegetación y aplicar ajustes de manejo cuando corresponda. • Informe de rescate de germoplasma y viverización. • Informes técnicos de cobertura, composición y funciones ecológicas de la vegetación en el sitio de compensación, acompañados de registros fotográficos y georreferenciados. Los informes deberán incluir, además, la identificación de eventuales desviaciones respecto a las metas establecidas y la descripción de las acciones correctivas implementadas para restablecer la eficacia de la medida. • Informe comparativo con sitios de referencia (áreas no intervenidas de la misma comunidad vegetal) con el sitio de compensación para determinar balance de biodiversidad. • Registro de mantenimiento y control de invasoras.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Medida N°5 - Fauna - Detención programada de aerogeneradores

Medida N°5: Detención programada de aerogeneradores	
Impacto	Pérdida de individuos
Componente	Fauna
Objetivo	Reducir la mortalidad de especies de avifauna y quirópteros.
Descripción	<p>Esta medida consiste en detener los aerogeneradores de manera selectiva durante períodos de mayor riesgo de colisión para avifauna y quirópteros en base a monitoreo y seguimiento de puntos, estaciones o indicadores de control que puedan alertar de la situación con la debida anticipación. Su programación y por lo tanto la frecuencia de su monitoreo, se basa en estudios de desplazamiento y comportamiento de las especies de fauna voladora de interés, considerando variables como temporada de migración, horarios de actividad y condiciones climáticas.</p> <p>La medida requiere monitoreo constante, definición de umbrales específicos por especie y la identificación de lugares o aerogeneradores críticos, ajustando la medida mediante un enfoque de manejo adaptativo. La aplicabilidad de este enfoque se fundamenta en la posibilidad de modificar la medida en función de la información generada por el monitoreo, lo que puede implicar ajustar los horarios de detención, ampliar los umbrales de riesgo definidos o incorporar aerogeneradores críticos adicionales cuando sea necesario.</p> <p>La efectividad de la medida se verifica a través del registro de colisiones y la aplicación de metodologías estandarizadas para estimar la mortalidad.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> Disminución del número de colisiones registradas respecto a las estimaciones teóricas de riesgo de colisión. Índice de éxito de la medida, reducción en porcentaje de colisiones respecto a estimaciones teóricas previstas en línea base.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo semestral y registro fotográfico fechado y georreferenciado del número de colisiones, tipo de especie, por periodo y sector del proyecto. Registro fotográfico fechado y georreferenciado de periodos, duración y ubicaciones de detención de aerogeneradores implementados. Informes técnicos periódicos que reporten la correlación entre los períodos de detención de aerogeneradores y la reducción en la mortalidad observada de aves y murciélagos. Dichos informes deberán incluir registros georreferenciados y fechados de los sitios y momentos de monitoreo, especificar la frecuencia y temporada de ejecución, y los mecanismos de reportabilidad hacia la autoridad ambiental.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Medida N°6 - Recurso hídrico - Plan de Alerta Temprana (PAT)

Medida N°6: Plan de Alerta Temprana (PAT)	
Impacto	<ul style="list-style-type: none"> • Alteración del régimen de caudales. • Cambio en los niveles de agua subterránea. • Modificación de la red de drenaje. • Alteración de cauces y riberas. • Cambio en la calidad del agua (superficial y/o subterránea)
Componente	Recurso Hídrico
Objetivo	Mantener las principales variables ambientales hídricas dentro de lo proyectado y aprobado ambientalmente, incluyendo caudales superficiales, niveles de agua subterránea, calidad fisicoquímica y biológica del recurso, y condiciones de cauces y riberas. El plan busca anticipar desviaciones en estos parámetros críticos, de manera de prevenir impactos significativos y permitir la aplicación oportuna de medidas correctivas.
Descripción	<p>La medida consiste en la plantación y enriquecimiento del área de compensación seleccionada, empleando especies nativas equivalentes o superiores a las intervenidas (en cantidad, densidad, composición y funcionalidad), tomando como referencia sitios locales para definir metas cuantitativas. El diseño de plantación considerará atributos como riqueza, densidad, proporción de especies y estratos vegetacionales, con el fin de reproducir la estructura y composición original. Se declarará el método de siembra/plantación, el calendario con plazos óptimos de ejecución y los responsables de la capacitación y ejecución.</p> <p>La implementación contemplará acciones de manejo previo del área de compensación, como la eliminación de especies exóticas invasoras y la mejora de las condiciones del suelo. Asimismo, se realizará el rescate de germoplasma (semillas, estacas o plántulas) de los individuos afectados, destinado a viverización y posterior uso en la compensación. Durante la plantación, se incorporarán medidas de protección física, tales como cercado perimetral, señalética de reconocimiento y protectores individuales, además del control de herbívoros (ej. lagomorfos), para asegurar el establecimiento y la supervivencia de las especies.</p> <p>El plan de monitoreo será híbrido, combinando trabajo en parcelas permanentes y seguimiento mediante SIG, para verificar cobertura, supervivencia y cambios en la estructura. Se contempla un monitoreo anual de al menos dos años, con revisiones semestrales en los dos primeros años (etapa crítica por prendimiento, herbivoría, sequía o plagas) y monitoreos anuales posteriores, salvo en caso de eventos de riesgo (sequías extremas, incendios, etc.).</p> <p>La medida se formula bajo los criterios técnicos y metodológicos actualmente vigentes para la compensación de biodiversidad, asegurando que su diseño y ejecución respondan a estándares de trazabilidad, indicadores de eficacia y mecanismos de seguimiento progresivo que permitan su verificación en el tiempo.</p>

Medida N°6: Plan de Alerta Temprana (PAT)	
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> Al menos un 90% de las mediciones de las variables hídricas críticas deben encontrarse dentro de los umbrales definidos. Acciones preventivas y/o correctivas exitosas que restablecen las variables hídricas dentro de los límites proyectados, definidas de acuerdo con los umbrales definidos. Reducción de desviaciones respecto a la línea base. Tiempo de respuesta desde la detección de desviaciones hasta la implementación de acciones correctivas.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> Series de resultados de monitoreo comparadas con la línea base, en formato editable, respaldadas con registros fechados y georreferenciados de las estaciones o puntos de medición. Los informes deberán indicar la frecuencia y temporada de los monitoreos, y los mecanismos de reportabilidad hacia la autoridad ambiental, de modo de asegurar trazabilidad y permitir la detección oportuna de desviaciones. Informes de eficacia de las acciones preventivas/correctivas tras la activación/desactivación del PAT, con detalles de causa, acciones realizadas y resultados. Informes de investigación que explican las activaciones y/o desactivaciones de las diferentes fases.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Medida N°7 - Medio humano - Plan de Monitoreo Participativo y Gestión Socioambiental

Medida N°7: Plan de Monitoreo Participativo y Gestión Socioambiental	
Impacto	Intervención y alteración de los sistemas de vida y costumbres del grupo humano
Componente	Medio Humano
Objetivo	Prevenir, mitigar y corregir los impactos sociales que pueda generar el proyecto sobre las comunidades aledañas, asegurando una relación transparente y continua entre titular y grupos humanos. La medida busca garantizar que los cambios en la calidad de vida, costumbres y dinámicas de desplazamiento se gestionen de manera eficaz y verificable.
Descripción	<p>El plan integra un conjunto de acciones destinadas a fortalecer la gestión socioambiental y la participación comunitaria en el seguimiento del proyecto. Contempla la realización de inducciones socioambientales para trabajadores y contratistas, la implementación de protocolos de comunicación y relacionamiento con las comunidades, la aplicación de políticas de buenas prácticas con proveedores y subcontratistas, y la adopción de medidas de tránsito seguro (señalética, control de velocidad y comunicación de horarios de desplazamiento). Asimismo, incorpora un programa de verificación de la eficacia de las medidas de mitigación de impactos relevantes, tales como ruido y vibraciones, efecto shadow flicker, alteraciones al paisaje y otras de interés para la comunidad.</p> <p>El monitoreo participativo se establece como un eje central de este plan, con el fin de involucrar directamente a las comunidades en la evaluación de las variables ambientales, promoviendo transparencia, confianza y corresponsabilidad. Para ello, se facilitará la participación</p>

Medida N°7: Plan de Monitoreo Participativo y Gestión Socioambiental	
	<p>de representantes comunitarios en el terreno y en instancias de revisión de resultados, asegurando condiciones adecuadas de información, insumos y seguridad. Cada actividad de monitoreo participativo deberá contar con una planificación y convocatoria formal a la comunidad.</p> <p>Finalmente, el plan será flexible y dinámico, adaptándose a la realidad del territorio, a las particularidades de las comunidades presentes y a los cambios que surjan durante las distintas etapas del proyecto.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Específico en función de las medidas adoptadas por el titular en función de prevenir, mitigar y corregir los impactos sociales a las comunidades aledañas.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informes consolidados de capacitaciones y actividades, que incluyan listas de asistencia firmadas, temarios impartidos y fotografías fechadas y georreferenciadas; dichos informes deberán detallar la frecuencia y temporada de ejecución, y la reportabilidad de los resultados tanto a la comunidad como a la autoridad ambiental competente. • Protocolos elaborados y difundidos de comunicación, relacionamiento y monitoreo participativo con los trabajadores y la comunidad. • Actas de terreno y reuniones con la comunidad, que incorporen registros fotográficos fechados y georreferenciados, las observaciones y acuerdos planteados por ambas partes. • Informe detallado del programa de verificación de los impactos relevantes con evidencia de la correcta acción de implementación. • Informe de resultados de monitoreo participativo en lenguaje claro y accesible, complementado con los aspectos técnicos necesarios. • Registro de difusión de los resultados mediante un canal oficial de comunicación (reuniones periódicas, plataforma digital, correo institucional u oficina comunitaria).

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Medida N°8 - Aire - Pavimentación de caminos y medidas complementarias

Medida N°8: Pavimentación de caminos y medidas complementarias	
Impacto	Aumento de emisiones atmosféricas por resuspensión de material particulado en caminos
Componente	Aire
Objetivo	Disminuir en forma significativa la generación de material particulado de resuspensión por tránsito vehicular en caminos de acceso y operación, protegiendo la salud de las comunidades cercanas y garantizando condiciones seguras de circulación.
Descripción	La medida consiste en la pavimentación de los tramos críticos de mayor flujo vehicular y cercanía a receptores sensibles. Se acompañará de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo. Además, se debe complementar con señalización vial preventiva, límites de velocidad y capacitaciones a conductores sobre medidas de control de emisiones. Se realizará un monitoreo sistemático de la eficacia en la reducción de polvo en puntos representativos antes y después de la implementación.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción $\geq 90\%$ de emisiones de polvo por resuspensión respecto a línea base. • 100% de capacitación del personal sobre medidas de control de emisiones y conducción segura.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe con registro fotográfico fechado y georreferenciado de obras y mantenciones. • Informes técnicos de calidad de carpeta asfáltica y obras asociadas, acompañados de registros fotográficos georreferenciados, que especifique la frecuencia y temporada de las evaluaciones, etapa del proyecto y la reportabilidad de resultados tanto a la comunidad como a la autoridad competente. • Monitoreo comparativo de MP10/MP2,5 antes y después, debiendo establecerse las fechas durante la evaluación (hitos). • Informe con actas de capacitación con su respectiva lista de asistencia firmada, y registros fotográficos de fechas y georreferenciados de la señalética instalada.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19 Medida N°9 - Aire - Plan Integral de Gestión de Emisiones Atmosféricas y Olores (PIGEAO)

Medida N°9: Plan Integral de Gestión de Emisiones Atmosféricas y Olores (PIGEAO)	
Impacto	Riesgo a la salud por aumento de emisiones atmosféricas y olores
Componente	Aire
Objetivo	Prevenir y controlar las emisiones de polvo, contaminantes de combustión y olores en todas las etapas del proyecto, asegurando que los niveles no representen un riesgo a la salud ni molestias significativas a la comunidad.
Descripción	El plan integra acciones para el control de polvo en caminos no pavimentados (humectación o supresores bajo protocolos claros), la gestión de emisiones de la flota y maquinaria (tecnologías limpias, mantención periódica, operación eficiente) y la implementación de un plan de gestión de olores con monitoreo, medidas de abatimiento y protocolo de atención de reclamos.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción $\geq 90\%$ del polvo por resuspensión en caminos no pavimentados • Porcentaje de flota operativa certificada bajo estándares de bajas emisiones. (Vehículos pesados euro VI y vehículos livianos de euro IV en adelante) • 100% de reclamos por olores atendidos y subsanados.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe consolidado de aplicación y monitoreo de la medida de abatimiento de polvo en caminos internos y externos, que incorpore registros de aplicación (fecha, hora, ubicación, producto y volumen utilizado) junto con evidencia fotográfica fechada y georreferenciada, y evaluaciones de eficacia mediante mediciones de MP10/MP2,5 antes y después de la aplicación. El informe deberá detallar las condiciones de operación (acondicionamiento previo de caminos, frecuencia y temporada de aplicación, fuente de agua utilizada) e incluir sistemas de registro digital (como archivos GPS/kmz de recorridos de camiones) que complementen las planillas de control. Además, deberá establecer la frecuencia de reportabilidad y el horizonte de monitoreo comprometido, asegurando la trazabilidad de la medida tanto ante la autoridad ambiental. • Informe con certificados de mantenimiento de la flota y documentación que acredite la tecnología utilizada, incluyendo el certificado emitido por el proveedor correspondiente • Programa integral de capacitación y control operativo, respaldado mediante registros de asistencia y contenidos impartidos, protocolos de buenas prácticas en conducción y operación de maquinaria firmados por el personal, y reportes de telemetría o control interno que acrediten la reducción de ralentí, consumo de combustible y emisiones visibles. Toda esta información deberá presentarse en informes periódicos, con evidencia fechada y georreferenciada, indicando la frecuencia y temporada de ejecución, el horizonte temporal de seguimiento comprometido y los mecanismos de reportabilidad hacia la autoridad ambiental y la comunidad. • Informe consolidado con registro trazable de reclamos comunitarios y acciones correctivas implementadas frente a emisiones de olores, que incluya la fecha de cada reclamo y de las medidas aplicadas, de manera de permitir la comparación temporal y verificar la disminución de denuncias en el tiempo. El informe deberá además documentar el seguimiento de la eficacia de las medidas de abatimiento y reportarse periódicamente a la autoridad ambiental y a la comunidad.

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 20 Medida N°10 - Ruido y vibraciones - Plan Integral de Gestión de Ruido y Vibraciones (PIGRV)**

Medida N°10: Plan Integral de Gestión de Ruido y Vibraciones (PIGRV)	
Impacto	Aumento de niveles de ruido y vibraciones en comunidades aledañas
Componente	Ruido y Vibraciones
Objetivo	Prevenir, mitigar y controlar los impactos derivados de emisiones de ruido y vibraciones en las etapas de construcción, operación y cierre; priorizando la protección de la salud, el bienestar y la calidad de vida de las comunidades cercanas. La medida busca reducir de manera efectiva la exposición de los receptores sensibles.
Descripción	<p>La medida contempla la implementación de soluciones técnicas y de gestión para reducir las emisiones de ruido y vibraciones, entre ellas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pantallas acústicas (fijas, móviles o locales) y encapsulamiento de equipos de alta potencia. • Mantenimiento preventivo de maquinaria y vehículos para evitar aumentos de ruido por desgaste. • Monitoreo periódico en receptores sensibles, realizado por ETFA, en horarios de mayor actividad. • Medidas de gestión operativa, como políticas silenciosas en obra, horarios de trabajo regulados y protocolos comunitarios de atención y resolución de reclamos. <p>El plan incluye, en caso de ser necesario, la implementación de pantallas acústicas, encapsulamiento de equipos, mantenimiento preventivo de maquinaria, monitoreo periódico en receptores sensibles realizado por ETFA en horarios de mayor actividad y medidas de gestión como políticas silenciosas, horarios establecidos de trabajo y protocolos comunitarios de reclamos.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción verificable de los niveles de ruido y vibraciones respecto a la línea de base y de las proyecciones de impacto. • Reducción en la cantidad de reclamos comunitarios por ruido y vibraciones respecto a fases previas del proyecto.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informes técnicos de ruido y vibraciones elaborados por un ETFA, con respaldo fotográfico y georreferenciado de los puntos de monitoreo y de las medidas implementadas. Los informes deberán indicar la frecuencia y temporada de ejecución de los monitoreos, el horizonte temporal de seguimiento comprometido y los mecanismos de reportabilidad hacia la autoridad ambiental y la comunidad, permitiendo verificar la eficacia de las medidas aplicadas y la evolución de los niveles registrados en el tiempo. • Informe con registros fotográficos fechados y georreferenciados de equipos de monitoreo y pantallas instaladas • Registros de capacitación en políticas silenciosas y reporte trazable de reclamos recibidos y subsanados, con sus respectivas listas de asistencia firmadas y el registro fotográfico fechado y georreferenciado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Medida N°11 - Residuos - Innovación Tecnológica para la Gestión y Reducción de Residuos

Medida N°11: Innovación Tecnológica para la Gestión y Reducción de Residuos	
Impacto	Aumento de la generación de residuos
Componente	Residuos
Objetivo	Reducir de manera significativa la generación de residuos en las distintas etapas del proyecto, priorizando tecnologías limpias y eficientes que sustituyan procesos generadores de residuos de difícil manejo o disposición.
Descripción	<p>La medida consiste en la incorporación de tecnologías específicas de producción más limpia (PML) que eviten o reduzcan la generación de residuos en la fuente emisora. Estas tecnologías deben reemplazar procesos convencionales que generan subproductos o desechos de alto volumen o peligrosidad.</p> <p>La medida debe acompañarse de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de la tecnología instalada y de un programa de capacitación al personal operativo para asegurar su correcta implementación.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en la generación de residuos respecto al proceso convencional reemplazado. • 100% de capacitación del personal operativo sobre el uso de la tecnología
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe consolidado de implementación, operación y eficacia de la tecnología de minimización de residuos, que incluya: validación técnica (manuales, fichas y especificaciones), registros de operación y mantenimiento con evidencia fotográfica fechada y georreferenciada, y reportes comparativos de generación de residuos antes y después de la sustitución tecnológica. El informe deberá detallar la frecuencia y temporada de los monitoreos, el horizonte temporal comprometido y los mecanismos de reportabilidad hacia la autoridad ambiental, asegurando trazabilidad en los indicadores de reducción de residuos.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Medida N°12 - Patrimonio - Plan de hallazgos arqueológico/paleontológico

Medida N°12: Plan de hallazgos arqueológico/paleontológico	
Impacto	Alteración de sitios y/o hallazgos arqueológicos y/o paleontológicos
Componente	Patrimonio
Objetivo	Prevenir, mitigar y gestionar los impactos sobre el patrimonio arqueológico y paleontológico durante la ejecución del proyecto, asegurando protección, trazabilidad. La medida busca garantizar una respuesta inmediata de protección al patrimonio frente a hallazgos, la capacitación de trabajadores y comunidades.
Descripción	<p>El plan contempla un conjunto integrado de acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Charlas y capacitaciones: inducciones obligatorias para trabajadores y contratistas sobre el valor del patrimonio, elementos patrimoniales existentes en el área del proyecto, medidas de protección existentes en el área del proyecto, procedimientos de hallazgo y resguardo, complementadas con charlas a la comunidad local para fortalecer la conciencia patrimonial. Dichas charlas y capacitaciones deben ser dictadas por un profesional arqueólogo y/o paleontólogo. • Monitoreo arqueológico y/o paleontológico permanente: presencia de profesionales arqueólogos y/o paleontólogos acreditados durante excavaciones o faenas en áreas de sensibilidad patrimonial alta, con registro continuo y protocolos de actuación inmediata. • Plan de acción ante hallazgos: protocolo formal de paralización de obras, delimitación del área, aviso inmediato al CMN y resguardo in situ hasta la llegada de especialistas, con responsabilidades claras y tiempos definidos. • Registro y rescate de elementos: documentación detallada (fichas, fotografías georreferenciadas y fechadas, aerofotogrametría, embalaje, inventario) y traslado de materiales bajo supervisión autorizada a recinto autorizado previamente por la autoridad.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • 100% de gestiones realizadas conforme al protocolo de hallazgos arqueológicos y paleontológicos con autorización del CMN. • Capacitación acreditada al 100% de los trabajadores antes del inicio de faenas.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de registros de capacitaciones con listas de asistencia fechadas y firmadas, temarios y fotos georreferenciadas y fechadas. • Informes de monitoreo arqueológico con respaldo de profesionales acreditados, con planos georreferenciado en formato kmz, fichas diarias de los monitoreos y bitácora de las acciones realizadas, considerando registro fotográfico fechado y georreferenciado. • Protocolos de hallazgos aprobados por el CMN y difundidos, considerando listas de asistencia fechadas y firmadas, actas de entrega firmadas y registro fotográfico fechado y georreferenciado. • Informes técnicos de hallazgos, fichas de rescate y registros fotográficos fechados y georreferenciados, archivos kmz/audiovisuales. • Actas de coordinación con CMN y de paralización de obras en caso de hallazgos

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Medida N°13 - Patrimonio - Medidas de protección patrimonial de sitios y/o hallazgos arqueológicos/paleontológicos

Medida N°13: Medidas de protección patrimonial de sitios y/o hallazgos arqueológicos/paleontológicos	
Impacto	Pérdida de información del patrimonio cultural, arqueológico y/o paleontológico
Componente	Patrimonio
Objetivo	Resguardar de forma preventiva y efectiva los sitios arqueológicos y paleontológicos identificados en el área de influencia del proyecto, evitando su afectación material y la pérdida de información cultural y científica asociada. La medida busca asegurar la integridad física de los sitios y hallazgos, su monitoreo y registro adecuado.
Descripción	<p>La medida contempla la delimitación y señalización de áreas sensibles identificadas en caracterización, línea base y/o durante la ejecución del proyecto, estableciendo zonas de exclusión estricta para maquinaria y personal. Incluye el cierre físico con cercos perimetrales, señalética y la implementación de sistemas de vigilancia y control de acceso.</p> <p>Charlas y capacitaciones: inducciones obligatorias para trabajadores y contratistas sobre el valor del patrimonio, elementos patrimoniales existentes en el área del proyecto, medidas de protección existentes en el área del proyecto, procedimientos de hallazgo y resguardo, complementadas con charlas a la comunidad local para fortalecer la conciencia patrimonial. Dichas charlas y capacitaciones deben ser dictadas por un profesional arqueólogo y/o paleontólogo.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • 100% de sitios arqueológicos y paleontológicos identificados protegidos con cercos, señalización y registros trazables y en condición "buena". • 0 incidentes de intervención no autorizada en áreas de exclusión. • Capacitación acreditada al 100% de los trabajadores antes del inicio de faenas.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informes de monitoreo arqueológico con el estado de los sitios, cercado y señalética, considerando archivo kmz y registro fotográfico fechado y georreferenciado. • Informes periódicos remitidos a la autoridad competente (CMN). • Informe de registros de capacitaciones con listas de asistencia fechadas y firmadas, temarios y fotos georreferenciadas y fechadas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Medida N°14 - Patrimonio - Puesta en Valor del Patrimonio Cultural

Medida N°14: Puesta en Valor del Patrimonio Cultural	
Impacto	Pérdida del valor cultural de los elementos patrimoniales
Componente	Patrimonio
Objetivo	Promover y difundir el patrimonio cultural presente en el área de influencia del proyecto, mediante un plan de puesta en valor que facilite la comprensión de su significado y relevancia por parte de la comunidad y la sociedad en general.
Descripción	<p>El plan contempla el diseño e implementación de estrategias de difusión y puesta en valor orientadas a transmitir y fortalecer los valores patrimoniales identificados. Estas estrategias podrán materializarse a través de la elaboración de materiales divulgativos (audiovisuales, impresos o digitales), el desarrollo de actividades educativas y culturales, así como la incorporación de mecanismos de participación comunitaria en la elaboración, validación y socialización de los contenidos.</p> <p>Asimismo, se considera la realización de estudios específicos que permitan profundizar en el conocimiento del patrimonio, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigaciones sobre saberes tradicionales y/o ancestrales, con miras a su rescate, documentación y transmisión. • Estudios sobre patrimonio cultural tangible, enfocados en su caracterización, diagnóstico y valoración. • Análisis de factibilidad financiera que facilite la puesta en valor de productos y prácticas locales vinculadas al patrimonio. <p>La implementación de estas acciones deberá realizarse mediante un equipo interdisciplinario de especialistas, promoviendo la articulación con comunidades locales, instituciones académicas y entidades competentes.</p>
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Específico en función de las características de la medida adoptadas por el titular en función de prevenir, mitigar y corregir los impactos culturales a las comunidades aledañas.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de difusión aprobado y evidencias de su ejecución (documentos, materiales, actas). • Registros de participación comunitaria en el diseño y ejecución de la medida. • Materiales divulgativos producidos (digitales, impresos o audiovisuales). • Informes consolidados remitidos a la autoridad y comunidad con resultados de la medida. • Elaboración y difusión del material de divulgación a la comunidad • Actas o informes de actividad del plan a la comunidad y autoridades competentes. • Entrega y difusión de informes de estudios realizados por el plan a la comunidad.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Medida N°15 - Suelo - Flora y vegetación - Restauración de áreas intervenidas por el proyecto (obras temporales)

Medida N°15: Restauración de áreas intervenidas por el proyecto (obras temporales)	
Impacto	Alteración y/o degradación de la cobertura vegetal y de las propiedades físico-químicas y biológicas del suelo en áreas intervenidas temporalmente por el proyecto
Componente	<ul style="list-style-type: none"> • Suelo • Flora y Vegetación
Objetivo	Recuperar la capacidad de uso de suelo y la vegetación de las áreas intervenidas por el proyecto debido a obras temporales. La medida busca restaurar las condiciones del suelo y vegetación existente previo a la intervención, asegurando que sean lo más similares posibles a la situación inicial.
Descripción	<p>Consiste en la estabilización y preparación del suelo en el área intervenida y posterior revegetación en similar composición y estructura existente previo a las obras realizadas. Considera las siguientes acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Preparación del suelo, que considera la incorporación de materia orgánica, enmiendas u obras de riego para mejorar la disponibilidad de agua, entre otras actividades. También puede contemplar la extracción y reserva del escarpe superficial previo a la intervención, con el fin de conservar las características del suelo y evitar la pérdida de sus propiedades. Para asegurar su efectividad, este material deberá ser reutilizado en plazos adecuados y acotados, evitando periodos prolongados de almacenamiento que comprometan su calidad física, química y biológica. • Monitoreo periódico de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo (pH, materia orgánica, nutrientes, compactación, macro y microfauna) en áreas de intervención y zonas adyacentes, con el fin de implementar acciones de restauración adecuadas según los resultados obtenidos. • Plantación y enriquecimiento del área intervenida, empleando especies nativas equivalentes o superiores a las intervenidas (en cantidad, densidad, composición y funcionalidad)
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación $\geq 70\%$ de los parámetros de calidad de suelo respecto a línea base en un plazo de 3 años. • Supervivencia del 75% de las especies nativas plantadas al tercer año. • 70% de las áreas temporales intervenidas restauradas y con cobertura vegetal funcional al segundo año.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informes de monitoreo de parámetros físico-químicos y biológicos del suelo según SAG. • Informes con registro de aplicación de enmiendas o prácticas de restauración, el cual debe contener fotografías georreferenciadas y actas de recuperación de áreas temporales. • Reporte de monitoreo de supervivencia de especies nativas y control de invasoras semestral al primer año y anual desde el segundo año.

Medida N°15: Restauración de áreas intervenidas por el proyecto (obras temporales)

	<ul style="list-style-type: none"> • Informes consolidados enviados a la autoridad con resultados y plan de medidas correctivas.
--	---

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 26 Medida N°16 - Suelo - Mejoramiento de capacidad de uso de suelo**

Medida N°16: Mejoramiento de capacidad de uso de suelo	
Impacto	Pérdida de capacidad de uso de suelo
Componente	Suelo
Objetivo	Compensar de manera equivalente la pérdida de capacidad de uso del suelo afectado por el proyecto, asegurando que se restablezcan las condiciones físicas, químicas y biológicas necesarias para sostener la biodiversidad o la productividad agrícola, de acuerdo con la idoneidad del sitio determinado durante la evaluación ambiental.
Descripción	<p>Consiste en mejorar la capacidad de uso de suelo para subir al menos un grado superior según la pauta de clases de suelo definida por el SAG.</p> <p>Esto considera actividades como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento físico: Subsulado para aumentar la profundidad efectiva y reducir pedregosidad superficial, retiro de rocas de gran tamaño y nivelación y control de compactación. • Mejoramiento químico-biológico: Incorporación de materia orgánica. • Mejoramiento hídrico: Considera la implementación de obras de riego para mejorar la disponibilidad y acceso al recurso hídrico de predios agrícolas para mejorar su capacidad productiva.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la profundidad efectiva del suelo $\geq 20\%$ respecto de la línea de base. • Reducción de la pedregosidad superficial en $\geq 30\%$ respecto de la línea base • Aumento de la materia orgánica respecto del valor inicial según el análisis químico • Cumplimiento de la clasificación de suelos en al menos un grado superior respecto al diagnóstico inicial según la Pauta de Estudio de Suelos (2011) del SAG.

Medida N°16: Mejoramiento de capacidad de uso de suelo	
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio diagnóstico de suelo inicial y post intervención, con el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Y con el cumplimiento de los criterios de clasificación de capacidad de uso según la Pauta de Estudio de Suelos elaborada por el SAG. Este debe incorporar informes de laboratorio con los resultados de los muestreos realizados. • Informe técnico con registro georreferenciado de actividades de mejoramiento de suelos implementadas, considerando registro fotográfico fechado y georreferenciado. • Reportes fotográficos y SIG del área intervenida con el suelo inicial, y con el mejorado. • Informe de seguimiento anual a lo largo de 3 años que acrediten permanencia de las características mejoradas del suelo.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27 Medida N°17 - Suelo - Plan de control y/o prevención de proceso erosivo

Medida N°17: Plan de control y/o prevención de proceso erosivo	
Impacto	Alteración y/o degradación del suelo por procesos erosivos
Componente	Suelo
Objetivo	Prevenir y mitigar la pérdida de suelo por procesos erosivos asociados a las obras del proyecto. La medida busca estabilizar las superficies intervenidas, controlar el arrastre de sedimentos y garantizar la recuperación progresiva de las áreas afectadas.
Descripción	La medida contempla la implementación de obras de control de erosión como zanjas de infiltración, terrazas de retención, empalizado con postes de madera y sistema de revegetación con especies nativas de rápido prendimiento. Incluye estabilización de taludes mediante técnicas mecánicas (mallas, geotextiles, etc.) y biológicas (plantaciones). Además, integrar un programa de monitoreo del riesgo de erosión, que evalúe periódicamente la efectividad de las obras y active acciones correctivas cuando se detecten procesos alterados.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción $\geq 90\%$ de evidencias de erosión activa en áreas intervenidas respecto a línea base • 100% de taludes críticos estabilizados y con monitoreo mensual.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Informe con planos, fichas técnicas, registros fotográficos georreferenciados y tipo de obras de control implementadas. • Informes de monitoreo de erosión con indicadores cuantitativos. • Evidencia de reposición/mantenimiento de obras cuando se detecten fallas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Medida N°18 - Paisaje - Programa de integración paisajística

Medida N°18: Programa de integración paisajística	
Impacto	Obstrucción de la visibilidad y alteración de atributos estéticos y biofísicos del paisaje
Componente	Paisaje
Objetivo	Mitigar y armonizar los impactos visuales y estéticos de las obras e instalaciones del proyecto, resguardando la calidad visual, el carácter del paisaje y la percepción escénica de las zonas con valor paisajístico.
Descripción	<p>La medida consiste en diseñar e implementar acciones de integración paisajística que reduzcan la intrusión visual, la incompatibilidad cromática y la artificialidad de las obras. Entre ellas se incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño armónico: uso de colores, texturas y materiales compatibles con el carácter del paisaje circundante, evitando contrastes cromáticos y reflejos excesivos. • Pantallas vegetales y barreras naturales: establecimiento de cortinas de vegetación nativa y áreas verdes en torno a infraestructuras visibles, priorizando especies acordes al ecosistema local. • Ubicación estratégica: emplazamiento de estructuras considerando las cuencas visuales, evitando cumbres, miradores y ejes de alta visibilidad. • Tratamiento de suelos y relieves: reconfiguración del microrelieve y revegetación de áreas intervenidas para reponer atributos biofísicos y minimizar la percepción de artificialidad. • Infraestructura de bajo impacto visual: integración de señalética, cierres perimetrales y elementos auxiliares con diseño sobrio y materiales no reflectantes.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de superficies intervenidas integradas mediante vegetación y obras de paisajismo respecto del total afectado. • Percepción comunitaria sobre la integración paisajística, medida a través de encuestas o talleres participativos.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Registros fotográficos georreferenciados pre, durante y post implementación de la medida. • Planos y fichas técnicas de diseño cromático y material de las obras. • Informes técnicos de revegetación y mantenimiento de áreas verdes. • Actas de participación ciudadana vinculadas a la validación o retroalimentación de la integración paisajística.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Medida N°19 - Turismo - Medidas de protección y fortalecimiento del valor turístico

Medida N°19: Medidas de protección y fortalecimiento del valor turístico	
Impacto	Alteración del valor turístico de la zona de influencia.
Componente	Turismo
Objetivo	Prevenir, mitigar y, cuando corresponda, compensar los impactos negativos derivados de las obras, acciones o emisiones del proyecto sobre el valor turístico de su área de influencia, resguardando la integridad de los atributos paisajísticos, culturales y patrimoniales que lo componen, y asegurando la continuidad de los flujos de visitantes y del desarrollo turístico sustentable.
Descripción	<p>La medida contempla un conjunto de acciones orientadas a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestión del acceso: Mantener y garantizar la permeabilidad de caminos, senderos y accesos hacia atractivos turísticos, con especial atención a periodos de alta afluencia (temporada estival, feriados, fines de semana). • Conservación de atractivos turísticos: Proteger sitios de valor paisajístico, cultural o patrimonial identificados en la línea base, evitando su deterioro o pérdida de funcionalidad. • Compatibilización de usos: Coordinar las actividades del proyecto con prestadores de servicios turísticos locales para reducir interferencias, como el uso intensivo de alojamiento, transporte u otras infraestructuras críticas para el turismo. • Medidas complementarias: Difundir información turística clara y actualizada (folletería, señalética interpretativa y plataformas digitales), y habilitar espacios de observación o interpretación ambiental y cultural, cuando corresponda, en zonas de interés turístico. • Participación y coordinación institucional: Establecer mesas de trabajo periódicas con SERNATUR, municipalidades, emprendedores turísticos y comunidades locales, para ajustar la medida según necesidades emergentes.
Indicador de Eficacia	<ul style="list-style-type: none"> • Conservación íntegra de los atributos paisajísticos, culturales y patrimoniales identificados en la línea base. • Accesos a atractivos turísticos mantenidos habilitados durante las fases del proyecto. • Servicios turísticos locales sin menoscabo directo por interferencia del proyecto. • Número de actividades de coordinación realizadas con actores turísticos y compromisos implementados.
Medios de Verificación	<ul style="list-style-type: none"> • Registros fotográficos georreferenciados y actas de inspección en terreno que acrediten la accesibilidad y estado de los atractivos turísticos. • Actas de coordinación y acuerdos con actores turísticos y autoridades sectoriales. • Materiales de difusión elaborados y registros de su entrega o implementación. • Encuestas de percepción a visitantes y emprendedores turísticos sobre accesibilidad, información y percepción de los atractivos turísticos. • Informes periódicos de monitoreo de flujos turísticos, comparados con la línea base y las estadísticas oficiales.

Fuente: *Elaboración propia*

8 Conclusión

Del trabajo de sistematización de 490 Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) e implementación de la metodología para identificar medidas eficaces para abordar los impactos ambientales generados por los proyectos de la cadena de valor del H₂V en el marco del SEIA (sistematización automatizada, revisión manual, asignación de categorías para facilitar el análisis masivo como validación y aportes de expertos a través de talleres participativos con OAECA), se reconocen 19 medidas tipo (de un total de 2.749 analizadas) que cumplirían con los elementos constitutivos mínimos para que, de implementarse adecuadamente, tanto la tendencia en el comportamiento de la variable ambiental objeto, como los resultados obtenidos en torno al impacto sobre el componente que busca abordar, se ajusten a los antecedentes considerados en el proceso de evaluación de impacto ambiental.

Para lograr lo anterior, se definió un conjunto de criterios preliminares, con el fin de orientar el proceso metodológico y permitir depurar el universo de medidas sistematizadas para llegar a un grupo representativo y verificable. Estos criterios se encuentran asociados a la temporalidad, ausencia de sanciones, contar con información de seguimiento ambiental, que no hayan presentado durante el seguimiento ambiental una variación sustantiva de la variable objeto, que en caso de que hayan sido objeto de fiscalización por la autoridad, no presenten desviaciones e incorporación de aportes metodológicos, y de experiencia entregados por los expertos que participaron en los talleres realizados al respecto.

Lo anterior permite observar que, pese a los avances experimentados en la estandarización de las Resoluciones de Calificación Ambiental durante los últimos años, se advierte de la existencia de brechas asociadas a la evaluación de eficacia de medidas, asociadas a limitaciones de forma para realizar la sistematización automatizada como también de fondo, referidas a la falta de elementos transversales constituidos para establecer medidas idóneas según el impacto a generar sobre un componente específico, que permita lograr el objetivo ambiental una vez implementada, ajustándose a lo evaluado.

En este sentido, se considera esencial avanzar en la entrega de definiciones, orientaciones y directrices respecto al concepto de “medida ambiental”, estableciendo la estructura metodológica (incluyendo indicadores y medios de verificación idóneos) que permita diferenciar y jerarquizar de forma clara respecto a una “actividad”, en función de su capacidad de abordar el impacto ambiental intrínsecamente asociado al componente potencialmente afectado. Considerando lo anterior, se plantea la necesidad de establecer estructuras y requisitos para el diseño de las medidas que permitan homogeneizar el contenido y asegurar descripciones precisas de sus objetivos, alcance, actividades y horizonte de implementación e indicadores y medios de verificación a entregar, que permitan evaluar realmente si la medida está cumpliendo el objetivo deseado y está abordando o no los impactos identificados.

Por su parte, y en cuanto a la implementación de las medidas, se reconoce la importancia de considerar, durante el diseño de las medidas, la gestión adaptativa como elemento constituyente, contemplando los escenarios, umbrales y resultados específicos de los indicadores de seguimiento, que permitan adaptar la implementación de las medidas para lograr su resultado efectivo y disminuir la probabilidad de impactos no previstos y modificaciones sustanciales que puedan derivar en la revisión de la RCA de un proyecto.

A mayor abundamiento, respecto al seguimiento y fiscalización de las medidas, se advierte la necesidad de contar con indicadores bien definidos, medios de verificación adecuados en forma y fondo y un plan de seguimiento formulado con una metodología clara y trazable, que permita al titular su implementación conforme a lo aprobado y a la autoridad contar con parámetros claros y objetivos y registros completos y oportunos que permitan verificar el cumplimiento de los indicadores de forma objetiva, trazable y con evidencia documentada.

Finalmente, se postula la necesidad de evaluar la viabilidad en la replicabilidad de medidas eficaces estandarizadas en distintos proyectos y etapas de la cadena de valor del hidrógeno verde, recomendándose el desarrollo de criterios comunes en base a un análisis de factores como el tipo de proyecto, localización geográfica, sensibilidad ambiental del área y las condiciones sociales del territorio.

9 Bibliografía

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Criterio de evaluación en el SEIA: Introducción a proyectos de Hidrógeno Verde*. Santiago, 2022.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Criterio de evaluación en el SEIA: Descripción integrada de proyectos para la generación de Hidrógeno Verde en el SEIA*. Santiago, 2023.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Criterio de evaluación en el SEIA: Contenidos técnicos para la evaluación ambiental del recurso hídrico*. Santiago, 2021.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Guía PAS 160: Instrucciones para proyectos fotovoltaicos*. Santiago, 2019.

Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). *Circular N°296/2019 sobre Compromisos Ambientales Voluntarios*. Santiago, 2019.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Guía Metodológica para la Compensación de Biodiversidad*. Santiago, año de publicación correspondiente.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). *Reglamento de Compensación de Biodiversidad (Ley N°21.600) [en elaboración]*.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental del Valor Turístico en el SEIA*. Santiago, 2017.

Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). *Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental del Valor Paisajístico en el SEIA*. 2ª ed., Santiago, 2019.

Dirección General de Aguas (DGA). *Resolución Exenta N°1752/2023*. Santiago, 2023

10 ANEXO

10.1 ANEXO 1. Metodología para extraer información de las RCA

10.1.1 Documentación técnica de los códigos desarrollados para la extracción de medidas desde documentos RCA (PDF)

I. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema permite extraer automáticamente Compromisos Ambientales Voluntarios (CAV) o medidas de mitigación, reparación y compensación presentes en documentos de RCA en formato PDF de Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y Evaluaciones de Impacto Ambiental (DIA).

El script identifica secciones relevantes de los documentos, extrae y estandariza la información desde tablas estructuradas y genera un archivo Excel con las medidas extraídas, junto con un reporte de procesamiento.

II. FLUJO GENERAL DEL PROCESO

1. Lectura de archivos PDF contenidos en una carpeta de entrada.
2. Identificación de secciones relevantes usando *Triggers* y *patrones de cierre*.
3. Extracción y fusión de tablas con PDFPlumber.
4. Normalización de encabezados y campos clave.
5. Extracción de registros por proyecto y medida según los campos clave.
6. Depuración de registros.
7. Generación de archivo Excel con resultados.

III. REQUERIMIENTO DE SOFTWARE

- Python 3.10 o superior
- Librerías Python:
 - PDFPlumber
 - Pandas
 - Numpy
 - Openpyxl
 - Logging
- IDE recomendado: Visual Studio Code.
- Opcional: Anaconda/Miniconda para manejo de ambientes.

IV. ARCHIVOS REQUERIDOS COMO ENTRADA AL SISTEMA

El sistema requiere disponer los siguientes archivos como entrada al sistema:

- Listado con ID SEA de proyectos a sistematizar (listado_id_proyectos.xlsx): columna clave: id (identificadores de los documentos a procesar).
- Listado de proyectos con información clave a incluir en resultados finales (información_proyectos.xlsx)
- Carpeta con documentos RCA y subcarpetas DIA y EIA respectivamente.

- Archivo `utils.py` que incluye funciones auxiliares utilizadas en los códigos principales.

V. PROCESO DE EJECUCIÓN PASO A PASO

1. Crear un entorno de Python con las librerías requeridas.
2. Crear carpeta con los PDFs a procesar.
3. Crear o actualizar archivos `.xlsx` requeridos indicados en el punto 3.
4. Ejecutar el script:
 - `extraccion_CAV.py`: para extracción de Compromisos Ambientales Voluntarios en documentos DIA o EIA.
 - `extracción_medidas_EIA.py`: para extracción de medidas de los planes de Mitigación, Reparación o Compensación de EIA.

Proceso interno del script

1. **Detección de páginas a procesar**: detecta páginas con medidas mediante triggers o texto clave (ej. *“contará con los siguientes compromisos ambientales voluntarios”*).
2. **Extracción y unión de tablas**: extrae tablas dentro de las páginas a procesar, detecta encabezados para separar tablas diferentes y une aquellas que abarcan más de una página.
3. **Parseo**: interpreta filas como encabezados, campos de medida o continuaciones de campo y extrae los registros.
4. **Normalización**: unifica campos como objetivo, descripción, justificación que pueden estar separados o en un solo campo dependiendo del documento
5. **Enriquecimiento y depuración**: une resultados con información_`proyectos.xlsx` para incorporar en la tabla final y limpiar nombres de medidas para eliminar puntuaciones y caracteres adicionales.
6. **Salida**: exporta a archivo `.xlsx` y genera un log de ejecución.

VI. SALIDAS DEL SISTEMA

Resultado a partir de código `extracción_CAV.py`:

- **Hoja 1 – medidas**: listado detallado con columnas:
 - ID_EXPEDIENTE
 - TIPO PRESENTACIÓN
 - NOMBRE_PROYECTO
 - REGIÓN, COMUNA
 - N°RCA, AÑO_RCA
 - ETAPA, TIPO_ETAPA_1 (campos generados para la selección inicial de proyectos)
 - PÁGINA (número de página del PDF)
 - NOMBRE_MEDIDA
 - FASE_DEL_PROYECTO
 - IMPACTO_ASOCIADO
 - OBJETIVO_DESCRIPCIÓN_Y_JUSTIFICACIÓN

- **Hoja 2 – reporte_procesamiento:** estado de cada PDF (procesado o error, cantidad de medidas detectadas).
- **Hoja 3 – trigger_no_encontrados:** documentos donde no se encontraron los trigger indicados y requieren revisión manual.

Resultado a partir de código extracción_medidas_EIA.py:

- **Hoja 1 – medidas:** listado detallado con columnas:
 - ID_EXPEDIENTE
 - TIPO_PRESENTACIÓN
 - NOMBRE_PROYECTO
 - REGIÓN, COMUNA
 - N°RCA, AÑO_RCA
 - ETAPA, TIPO_ETAPA_1 (campos generados para la selección inicial de proyectos)
 - PÁGINA (número de página del PDF)
 - NOMBRE_MEDIDA
 - TIPO_DE_MEDIDA
 - FASE_DEL_PROYECTO
 - COMPONENTE_AMBIENTAL
 - IMPACTO_ASOCIADO
 - OBJETIVO_DESCRIPCIÓN_Y_JUSTIFICACIÓN
- **Hoja 2 – reporte_procesamiento:** estado de cada PDF (procesado o error, cantidad de medidas detectadas).
- **Hoja 3 – trigger_no_encontrados:** documentos donde no se encontraron los trigger indicados y requieren revisión manual.

VII. 6. PARÁMETROS CONFIGURABLES

- Triggers de inicio (TRIGGER_BASE y TRIGGER_SUFFIXES).
- Patrones de término (END_PATTERNS).
- Diccionario de campos canónicos (CANON – ejemplo: “componente ambiental”, “objetivo”, etc.)
- Carpeta y subcarpetas con documentos a procesar
- Listado de IdSea de proyectos a procesar

10.2 Extracción de información respecto a medidas de control

Metodología

Se revisaron algunas RCA de ejemplo para identificar la forma en que se presentan las medidas de control dentro de los documentos, detectando lo siguiente:

- Las medidas de control no se presentan en un formato estructurado tipo tabla, sino que se indican dentro de párrafos o tablas existentes sin un nombre o parámetros homogéneos.
- En algunos casos se presentan tras una frase clave clara como “medidas de control:” o “las medidas de control son las siguientes:”, en otros casos, se presentan a continuación o como parte de un párrafo que menciona la implementación de medidas de control. En ambos casos, es necesario revisar la información de contexto de la sección del documento pertinente, para comprender de qué se trata cada medida.
- En general se observaron medidas de control de 3 tópicos principales: control de emisiones atmosféricas, control de ruido y control de vibraciones.
- Es posible encontrar mención a medidas de control en uno o más considerandos de las RCA, como, por ejemplo, en la descripción de obras y partes del proyecto, como parte de compromisos ambientales voluntarios o asociado a las medidas del plan de prevención de contingencias y plan de emergencias.

Los puntos anteriores impiden la extracción de información y sistematización de forma automatizada tal como se realizó en el caso de medidas de mitigación, reparación, compensación y CAV.

Considerando los tiempos disponibles para el desarrollo del trabajo, la imposibilidad de extraer cada medida de control indicada como tal en los 490 documentos de RCA seleccionados, y que la información no cuenta con una estandarización mínima de parámetros como nombre, objetivo y descripción, se realizaron las siguientes actividades:

1. Definición de frases clave o frases típicas con mención a medidas de control dentro de las distintas secciones de las RCA.
2. Generación de código python para detectar dichas frases y extraer el número de página y contexto asociado a dicha frase, es decir, el párrafo que existe a continuación.
3. Testeo del código en los documentos digitalizados de RCA de los proyectos seleccionados para modificar o incorporar nuevas frases y realizar ajustes al código.
4. Aplicación del código a los documentos digitalizados de RCA y de ICE en caso de no estar disponibles los primeros.
5. Revisión y ajuste manual de la información de contexto extraída.

La extracción de información se realizó sólo para los documentos digitalizados de RCA e ICE disponibles.

Resultados

Se definieron las frases clave a partir de verbos típicos en sus distintas conjugaciones, como implementar, implementación, incorporación, consideran, contemplan, etc, y las distintas formas en que se refiere a medidas de control, como las medidas de control, las siguientes medidas de control, medidas para el control, entre otras. El detalle de las frases clave definidas se presenta en el código adjunto.

El código se aplicó inicialmente a 37 documentos de EIA y 286 documentos de DIA, ya sea el propio documento RCA cuando estuviera disponible o el documento del ICE. Ambos casos corresponden sólo a documentos digitalizados y no en formato escaneado.

Tras la aplicación, se extrajeron inicialmente 713 registros de medidas de control de 215 documentos es los que se detectaron las frases definidas. Luego de la revisión y ajuste manual, se obtuvieron 485 registros de

184 documentos, principalmente por la eliminación de registros que no entregaban información concreta respecto a medidas de control.

Se mantuvieron sólo aquellos registros que, en la información de contexto, entregaban información explícita respecto a las medidas de control definidas por el proyecto o que indicaba el documento, anexo o acápite donde se podían encontrar.

La información de contexto extraída consistió en las 5 líneas de texto siguientes a la ubicación de la frase clave, sin embargo, esta no necesariamente extrae la información completa de la o las medidas de control específicas asociadas a la frase clave. Esto tiene sentido considerando que una medida de control puede describirse en una página completa, en una tabla o en unas líneas dentro de un párrafo, dado que no existe una estandarización al respecto.

10.3 ANEXO 2. Códigos y archivos auxiliares utilizados

El presente anexo se encuentra disponible como formato Excel (6 páginas) y py

10.4 ANEXO 3. Sistematización de RCA con medidas ambiental y CAV

El presente anexo se encuentra disponible como formato Excel (31 páginas)

10.5 ANEXO 4. Sistematización de Medidas de Control

El presente anexo se encuentra disponible como formato Excel (18 páginas) y código py.

.



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn, Germany

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

E info@giz.de
W www.giz.de

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

El proyecto Desarrollo del Hidrógeno Renovable en Chile (RH2), es cofinanciado por la Unión Europea y el Ministerio Federal de Economía y energía de Alemania (BMWE), siendo implementado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH y la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID).