



**Universidad del Desarrollo**  
Facultad de Ingeniería

# CARBONO AZUL EN CHILE: TIPOLOGÍAS Y MECANISMOS FINANCIEROS PARA SU DESARROLLO

DANIELA ANDREA ROJAS ESTAY

PROFESOR GUÍA: Zoë Louise Fleming, PhD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD  
DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD

SANTIAGO – CHILE  
2025



# CARBONO AZUL EN CHILE: TIPOLOGÍAS Y MECANISMOS FINANCIEROS PARA SU DESARROLLO

POR: DANIELA ANDREA ROJAS ESTAY

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

**PROFESOR GUIA:** Zoë Louise Fleming, PhD

**PROFESOR INTEGRANTE 1:** Álex Godoy Faúndez, PhD

**PROFESOR INTEGRANTE 2:** María Estrella Alcamán Arias, PhD

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Gestión de la Sustentabilidad

Diciembre 2025  
Santiago, Chile

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **CARBONO AZUL EN CHILE: TIPOLOGÍAS Y MECANISMOS FINANCIEROS PARA SU DESARROLLO**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o co-autoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en la Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



DANIELA ANDREA ROJAS ESTAY

*A mí, porque nunca paré de soñar.  
Por la determinación de avanzar.  
Por actuar siempre con convicción.  
Pero sin olvidar el camino recorrido.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a Zoë Fleming y Álex Godoy, por su orientación a lo largo de este proceso de tesis. Sus comentarios, preguntas y sugerencias fueron fundamentales para darle forma y profundidad a este trabajo.

Agradezco especialmente a Víctor Caro, del Ministerio del Medio Ambiente, por su tiempo y valioso aporte desde la política pública y gestión ambiental, que contribuyó a conectar esta tesis con la realidad del país. Asimismo, agradezco a Macarena Troncoso por la información compartida, que me permitió ver en detalle los conceptos clave de este trabajo. Y a María Estrella Alcamán, por haber aceptado ser parte de la comisión y aportar su mirada experta a este proceso.

Extiendo mi reconocimiento a todos los docentes del Magíster en Gestión de la Sustentabilidad por abrir espacios concretos para repensar la sostenibilidad desde la práctica, y a mis compañeras y compañeros, con quienes compartí trabajos e intercambio de ideas, reflexiones y aprendizajes compartidos.

En el plano personal, agradezco enormemente a Mónica, mi mamá, por su apoyo incondicional, por sostenerme en los momentos difíciles y celebrar cada pequeño avance. Quiero dedicar un agradecimiento muy especial a mis abuelos, Raúl y Nina, cuya memoria, valores y cariño siguen siendo una fuente de fuerza y sentido en cada logro alcanzado.

A Chai y Mochi, por recordarme, con pequeñas pausas y juegos, que además de escribir también era necesario descansar. Y finalmente, a mi compañero de vida, Carlitos: gracias por tu paciencia, tu compañía, tus palabras de ánimo cuando el cansancio se hacía sentir, y por creer siempre en mí. Esta tesis también es resultado de esa presencia cotidiana y de todo lo que hemos construido juntos.

# CARBONO AZUL EN CHILE: TIPOLOGÍAS Y MECANISMOS FINANCIEROS PARA SU DESARROLLO

Daniela Andrea Rojas Estay

Bajo la supervisión de la Profesora Zoë Louise Fleming PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

## *Resumen*

El carbono azul ha emergido como un mecanismo clave dentro de la economía azul para mitigar el cambio climático mediante la conservación y restauración de ecosistemas marino-costeros. Si bien Chile ha avanzado en este ámbito con una hoja de ruta preliminar, aún persisten desafíos para impulsar el desarrollo de estos proyectos. El objetivo de esta tesis es analizar las tipologías de proyectos de carbono azul y las condiciones financieras para su desarrollo en Chile, con el fin de orientar la inversión público-privada y contribuir a la implementación de mecanismos de mitigación climática. Para lograrlo, se utilizó una aproximación cualitativa mediante análisis documental y revisión de casos internacionales que permiten analizar ecosistemas y territorios marino-costeros chilenos y evaluar su relación con tipologías de proyectos existentes (clásicas o emergentes). Los resultados, organizados en una matriz ex-ante tipología–ecosistema–territorio y un portafolio priorizado, muestran que, si bien en los territorios marino-costeros de Chile existen ecosistemas con condiciones para el desarrollo de proyectos de carbono azul, la ausencia de esquemas de financiamiento adecuados constituye una de las principales barreras para su implementación. Se concluye que diseñar y adaptar mecanismos financieros específicos — formalizados como paquetes mínimos viables de condiciones financieras por tipología— será clave para avanzar hacia la implementación de proyectos de carbono azul en Chile, por lo que se requiere articular una ruta estratégica que combine inversión pública, instrumentos de mercado y financiamiento climático, considerando el contexto territorial y las capacidades del país.

Palabras clave: Carbono Azul; Economía Azul; Tipologías de Proyectos de Carbono Azul; Condiciones Financieras; Territorialidad marino-costera Chile.

## HIGHLIGHTS

# CARBONO AZUL EN CHILE: TIPOLOGÍAS Y MECANISMOS FINANCIEROS PARA SU DESARROLLO

DANIELA ANDREA ROJAS ESTAY

- Analiza las tipologías de proyectos de carbono azul y las condiciones financieras para su desarrollo en Chile.
- Utiliza un diseño cualitativo basado en análisis documental y revisión de casos internacionales.
- Revela brechas en los esquemas de financiamiento disponibles para la implementación de proyectos de carbono azul en Chile.
- Propone una ruta estratégica, una matriz ex-ante tipología–ecosistema–territorio y paquetes mínimos viables de condiciones financieras para orientar la inversión público-privada en territorios marino-costeros de Chile.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b>	<b>06</b>
<b>HIGHLIGHTS</b>	<b>07</b>
<b>INDICE GENERAL</b>	<b>08</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>12</b>
1.1 Objetivo general	20
1.1.1 Objetivos específicos	20
1.2 ¿Qué condiciones financieras son necesarias para desarrollar proyectos de carbono azul en Chile, considerando sus tipologías y territorialidad?	21
1.3 Breve discusión de la literatura	22
1.4 Propuesta metodológica	25
<b>2 MARCO TEÓRICO</b>	<b>28</b>
2.1 Definiciones y alcance de carbono azul	28
2.1.1 Definición y tipologías operativas	28
2.1.2 Unidad contable y límites	30
2.1.3 Criterios de integridad ambiental	33
2.1.4 Ecosistemas clásicos y emergentes	35
2.2 Puente biofísico-financiero	39
2.2.1 Integridad ambiental e integridad financiera	39
2.2.2 Correspondencia tipología-instrumento: biofísica, MRV y finanzas	40
2.3 Estado del arte y contexto Chile/Latinoamérica	43
2.3.1 Territorialidad (MEOW) y macrozonas de Chile	43
2.3.2 Madurez metodológica por ecosistema	46
2.3.3 Barreras regulatorias y técnicas (incluye datos/información) en Chile/Latinoamérica	47

2.3.4 Capacidades y demanda de mercado	49
2.3.5 Casos y aprendizajes	51
2.4 Síntesis y proposiciones	55
2.4.1 Matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes.	55
2.4.2 Proposiciones/Hipótesis operativas	58
2.4.3 Cuadro de operacionalización	60
<b>3 MECANISMOS DE FINANCIAMIENTO: ASPECTOS CLAVE</b>	<b>63</b>
3.1 Taxonomía mínima de instrumentos	63
3.2 Criterios de encaje	65
3.3 Umbrales prácticos para la matriz aplicada	67
<b>4 RESULTADOS</b>	<b>70</b>
4.1 Ruta Estratégica: matriz ex-ante tipología–instrumento–condiciones aplicada a Chile	70
4.2 Condiciones financieras necesarias por tipología	76
4.2.1 Proyectos de conservación: marismas y fiordos/canales	76
4.2.2 Proyectos de restauración: marismas y praderas marinas	78
4.2.3 Proyectos emergentes de macroalgas/kelp: manejo y creación/restauración	79
4.3 Proposiciones P1–P8 ex-ante (Soporta/Parcial/No)	81
4.4 Rutas habilitantes de corto plazo	86
4.4.1 Restauración de marismas y praderas marinas	86
4.4.2 Manejo y protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano	88
4.4.3 Conservación y manejo en fiordos y canales de la macrozona sur	89
4.5 Portafolio priorizado ex-ante	91
4.5.1 Núcleo de corto plazo: combinaciones “listas para avanzar”	91
4.5.2 Núcleo de pilotos estratégicos: restauración y ecosistemas emergentes	93
4.5.3 Frontera en observación: fiordos y combinaciones no priorizadas	94

4.5.4 Síntesis del portafolio priorizado	95
4.6 Discusión de resultados	96
4.6.1 Coherencia y contrastes con la literatura y marcos globales	96
4.6.2 Implicancias para el diseño de instrumentos y políticas en Chile	98
4.6.3 Limitaciones del enfoque ex-ante y vacíos de información	99
<b>5 CONCLUSIONES</b>	<b>101</b>
5.1 Propuesta para trabajos futuros	104
<b>6 REFERENCIAS</b>	<b>107</b>
<b>7 ANEXOS:</b>	<b>117</b>
7.1 Tablas multicriterio para determinar el enfoque de la tesis	117
7.2 Detalle de ecosistemas emergentes	119
7.3 Características de ecosistemas clásicos y emergentes	129
7.4 Fotografías de ecosistemas citados	132
7.5 Superficie de los ecosistemas de carbono azul presentes en Chile	133
7.6 Flujos financieros y condiciones de los instrumentos	134
7.7 Matriz ex-ante completa de condiciones habilitantes por combinación tipología-ecosistema-macrozona	135
7.8 ArcGis Map - Áreas Marinas Protegidas de Chile	137
7.9 ArcGis Map - Salmon Farms	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipologías de proyectos y ecosistemas de carbono azul	38
--	----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Glosario operativo	18
<b>Tabla 2.</b> Ruta estratégica para el desarrollo de proyectos de carbono azul en Chile	26
<b>Tabla 3.</b> Matriz de ecosistemas clásicos y emergentes	36
<b>Tabla 4.</b> Distribución de ecosistemas por macrozona chilena y provincia MEOW	44
<b>Tabla 5.</b> Matriz de tipologías, instrumentos financieros y condiciones habilitantes	55
<b>Tabla 6.</b> Propositiones	58
<b>Tabla 7.</b> Variables y sus características	60
<b>Tabla 8.</b> Matriz ex-ante resumida	72
<b>Tabla 9.</b> Criterio y puntaje asociado	117
<b>Tabla 10.</b> Enfoque de la tesis: Bajo entre 0-1 / Medio: 2 / Alto entre 3-4	118
<b>Tabla 11.</b> Características del carbono en función del entorno del arrecife	124
<b>Tabla 12.</b> Principales características de ecosistemas clásicos y emergentes	129
<b>Tabla 13.</b> Superficie de ecosistemas de carbono azul en Chile	133
<b>Tabla 14.</b> Flujos financieros: condiciones y riesgos	134
<b>Tabla 15.</b> Matriz ex-ante completa	135

## 1 INTRODUCCIÓN

El ciclo global del carbono describe el intercambio continuo de carbono entre la atmósfera, la biósfera, la geósfera y los océanos, y en él participan diversos ecosistemas. Según el IPCC (2022), un ecosistema es un sistema dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y su entorno no vivo, interactuando como una unidad funcional. Estos ecosistemas actúan como fuentes o sumideros de carbono y en función del tipo de ecosistema de remoción<sup>1</sup> de carbono, este se clasifica por colores. Mientras que el carbono verde hace referencia al carbono almacenado en la vegetación y suelos de ecosistemas naturales terrestres (Mackey et al., 2008), el carbono azul corresponde al carbono capturado por organismos vivos en ecosistemas marinos y costeros, que se almacena tanto en la biomasa como en los sedimentos (IPCC, 2018).

A diferencia del carbono verde, el carbono azul puede ser almacenado por largos períodos de tiempo, incluso milenios (Vanderklift et al., 2022). La captura neta de carbono azul en ecosistemas costeros, puede ser, por ejemplo, de 10 a 100 veces mayor que el de ecosistemas terrestres por unidad de superficie y representa aproximadamente el 50% del carbono almacenado en los sedimentos marinos a escala mundial (Duarte de Paula Costa & Macreadie, 2022). Esta capacidad superior de remoción a largo plazo ha posicionado al carbono azul como una herramienta clave frente a la crisis climática.

Además de su relevancia como sumidero climático, los ecosistemas de carbono azul brindan co-beneficios, es decir, efectos positivos sobre otros objetivos, aumentando así el beneficio total para la sociedad o el medio ambiente (IPCC, 2022). En términos de biodiversidad, proveen de refugio y alimento a una gran variedad de especies, incluidas las de interés comercial (Suresh et al., 2025). En cuanto a la adaptación al cambio climático, ayudan a prevenir la erosión, proteger de inundaciones y daños costeros, por ejemplo, una franja de 100 metros de manglares puede reducir la altura de olas hasta en un 66%, y se estima que

---

<sup>1</sup> Remoción, término oficial en el contexto de inventarios nacionales y mercados de carbono (*GHG Inventory Guidelines*), e incluye captura y almacenamiento como parte del proceso.

protegen de inundaciones a 15 millones de personas por año, evitando pérdidas materiales superiores a 65.000 millones de dólares (Menéndez et al., 2020). También aportan al bienestar comunitario a través del ecoturismo, que promueve la conciencia ecológica y el financiamiento directo a actividades de conservación. Desde una perspectiva económica, contribuye a la generación de empleo local en sectores como la alimentación, el transporte y la producción artesanal. En lo socio-cultural, valorizan el patrimonio natural, fortalecen la cultural local y ofrecen espacios recreativos que fomentan el bienestar de las comunidades (Suresh et al., 2025). Estas características explican el creciente interés por el carbono azul como una Solución Basada en la Naturaleza (NbS, por sus siglas en inglés), entendida como acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, a la vez que proporcionan beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (Cohen-Shacham et al., 2016). En este sentido, el carbono azul se configura como una solución climática integral que conecta mitigación, adaptación y desarrollo sostenible.

Desde la perspectiva financiera, los beneficios del carbono azul se podrían evidenciar a través de mecanismos como el de mercado de carbono, que consiste en un sistema, regulado o voluntario, en el que se transan unidades equivalentes a una tonelada métrica de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e), o crédito de carbono, certificada bajo metodologías verificadas. Esto es, que el proyecto aplicó una metodología aprobada por un programa de certificación de créditos de carbono (estándar), como Verra o Gold Standard, y pasó validación y verificación independientes por un tercero acreditado (VVBs), solo entonces el programa emite los créditos en su registro oficial (Gold Standard, 2024). Estas unidades pueden originarse en tres procesos distintos: captura, evitación de emisiones y remoción. Cada una puede generar créditos de carbono, siempre que se demuestren reducciones reales, adicionales, medibles y verificables respecto a un escenario de referencia (Shockley and Muller, 2023).

Estos tres procesos, captura, evitación y remoción, constituyen la base biofísica que da origen a créditos de carbono en el mercado. En un nivel más amplio, dentro de la gobernanza

climática, dichos procesos se enmarcan en las categorías de acción definidas por la literatura como mitigación, reducción y compensación.

En este contexto, la economía azul puede definirse como el marco económico que promueve el uso sostenible de los recursos marinos y costeros, con el objetivo de mejorar el bienestar humano y la equidad social, al tiempo que reduce los riesgos ambientales y asegura la resiliencia de los ecosistemas (ONU, 2012; Banco Mundial, citados en Selamoglu, 2021). Más allá de su dimensión comercial, se ha posicionado como una herramienta para enfrentar los impactos del cambio climático, particularmente en países costeros vulnerables. Esta economía reconoce el valor de recursos azules intangibles, entre ellos la remoción de carbono, los medios de vida costeros y la reducción de vulnerabilidad. De esta forma, el carbono azul no solo aporta a la mitigación climática, sino que se convierte en un componente clave para avanzar hacia economías más resilientes, con bajas emisiones y en línea con compromisos internacionales como el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 14 sobre vida submarina (Selamoglu, 2021). No obstante, el ODS 14 es uno de los menos financiados, con una brecha estimada en 149 mil millones de dólares anuales. En 2022, de los 154 mil millones de dólares destinados a NbS globales, sólo un 9% se orientó a NbS marinas, evidenciando una disparidad significativa frente a NbS terrestres: mientras que las áreas marinas protegidas reciben en torno a 1.000 millones de dólares al año, las terrestres captan aproximadamente 22.000 millones. Esta asimetría de inversión evidencia un déficit estructural que limita, por ejemplo, el cumplimiento del Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal, el cual exige expandir la cobertura de áreas marinas protegidas hasta un 30% al 2030, lo que requerirá flujos adicionales entre 8 y 11 mil millones de dólares anuales (UNEP FI, 2023).

Frente a estas limitaciones, fortalecer los proyectos de carbono azul resulta clave, ya que son iniciativas orientadas a la conservación, restauración o creación/manejo sostenible de ecosistemas vegetados, con el objetivo de evitar emisiones y/o aumentar la remoción de gases de efecto invernadero (GEI) mediante una contabilidad de carbono basada en metodologías oficialmente reconocidas. De acuerdo con el IPCC *Wetlands Supplement*

(2013), el núcleo metodológico actualmente reconocido incluye manglares, marismas y praderas marinas (conocidos como humedales costeros). Sin embargo, propuestas recientes han planteado la necesidad de ampliar el concepto de ecosistemas de carbono azul a aquellos que presentan características biogeoquímicas similares, o bien, complementarias en términos de transporte y remoción de carbono (James et al., 2024). Esta ampliación resulta clave para diversificar las oportunidades de proyectos de carbono azul. Asimismo, permite identificar y caracterizar tipologías de proyectos que respondan a las particularidades ecológicas y funcionales de cada ecosistema, especialmente en países como Chile, ya que presenta una alta heterogeneidad costera y, por lo tanto, un amplio abanico de contextos territoriales para este tipo de iniciativas.

Para los proyectos de carbono azul se han elaborado guías que describen las principales fases para su desarrollo. Estas ayudan a brindar un enfoque más estructurado y se centran en aspectos claves de los proyectos (AGEDI, 2014). Estas fases, son de:

**Diagnóstico.** Permite establecer una base mediante la identificación de los ecosistemas marino-costero objetivo, el análisis de prácticas existentes tanto de manejo como de evaluación de las causas de degradación y/o pérdida de los mismos, y para generar interés entre sectores y stakeholders clave. El resultado esperado, es un diagnóstico que sienta las bases para avanzar hacia una fase de planificación.

**Planificación.** Se formula el diseño detallado del proyecto. Permite definir los objetivos, establecer alianzas estratégicas, buscar financiamiento y seleccionar metodologías para cuantificar el carbono azul. El principal resultado es una propuesta integral del proyecto.

**Demostración.** Se valida el diseño del proyecto. Instancia para implementar la metodología seleccionada (medir, evaluar, adaptar), analizar opciones de gobernanza, marcos regulatorios, y priorizar riesgos para desarrollar estrategias de manejo integradas. Entre sus productos clave se encuentra el Documento de Diseño del Proyecto (PDD), que consolida la justificación técnica y estructural del proyecto para su escalamiento o certificación.

**Implementación.** Operacionaliza el proyecto y se orienta a asegurar su sostenibilidad en el tiempo. Esto es, ejecutar las acciones de restauración o conservación, establecer los mecanismos de financiamiento a largo plazo, gestionar la acreditación ante estándares reconocidos, implementar un sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV), junto con mecanismos de evaluación periódica. El objetivo de esta fase es consolidar un modelo que sea replicable y financieramente viable, tal que asegure la conservación efectiva de los ecosistemas marino-costeros y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

El éxito de ciertas iniciativas pioneras puede atribuirse, en gran parte, a que integraron componentes clave de las fases descritas. Un claro ejemplo de ello es el caso de Kenia, en Gazi Bay, donde se desarrolló en 2012 el primer proyecto de carbono azul del mundo: Mikoko Pamoja (“manglares unidos”, en swahili), que ha demostrado cómo estos enfoques pueden traducirse en co-beneficios (Formuli et al., 2023). En concreto, este proyecto se ha consolidado como un modelo innovador de conservación, financiado mediante la venta de créditos de carbono voluntarios, permitiendo restaurar manglares y, a su vez, beneficiar a las comunidades costeras (Zaid et al., 2025). Otro caso relevante, es el de la región de Abrolhos en Brasil, donde *Conservation International* y el Fondo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO) desarrollaron una iniciativa integral para preservar 95.000 km<sup>2</sup> de ecosistemas marinos y costeros mediante un fondo financiero público-privado (*Abrolhos Land and Sea Fund*), turismo sustentable y participación comunitaria, respectivamente. Los estudios indican que la red de Áreas Marinas Protegidas (AMPs) de Abrolhos ayudan a salvaguardar los recursos que forman la base de actividades económicas, como la pesca y el turismo. En ese ámbito ha logrado, por ejemplo, poblaciones de peces estables dentro de las reservas de uso múltiple, mientras que continúan disminuyendo fuera de ellas, lo que demuestra un fuerte potencial para la seguridad alimentaria de más de 15.000 personas. Y una mayor abundancia de especies de peces de arrecife, tanto dentro como cerca de los límites de las AMPs, lo que demuestra los efectos positivos de la conservación (International Partnership for the Satoyama Initiative, 2011). Aunque no se trata de un proyecto de carbono azul medido bajo estándares MRV, su enfoque integral en arrecifes, manglares y macroalgas

aporta aprendizajes sobre gobernanza territorial, mecanismos de financiamiento y adaptación al contexto local que pueden ser inspiradores para iniciativas en Chile.

Pese a estos antecedentes, la implementación de los proyectos de carbono azul sigue enfrentando barreras regulatorias, técnicas y financieras, muchas de las cuales se explican por intervenciones sectoriales no articuladas y por la ausencia de marcos habilitantes (Sánchez-Arcilla et al., 2022). A ello se suman vacíos en conocimiento científico, político y de gobernanza (Macreadie et al., 2019) que dificultan su aplicación a gran escala. En el caso chileno, un país con 83.000 km lineales de costa (Ballester y Navarro-Harris, 2023), la “Propuesta de Hoja de Ruta para el Carbono Azul” (Ministerio del Medio Ambiente & Banco Mundial, 2020) identificó oportunidades relevantes para integrar los ecosistemas marino-costeros en la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). Sin embargo, dicha hoja de ruta subraya vacíos críticos que limitan la materialización de proyectos: (i) la ausencia de un marco normativo específico que reconozca y regule el carbono azul, (ii) la falta de metodologías estandarizadas de cuantificación y monitoreo aplicables a la diversidad de ecosistemas nacionales, y (iii) la carencia de instrumentos financieros adaptados a estos proyectos, lo que restringe la atracción de inversión privada y el acceso a financiamiento climático internacional. Estas brechas explican por qué Chile aún no dispone de una cartera consolidada de proyectos de carbono azul.

La relevancia del carbono azul no se limita al marco nacional, sino que trasciende hacia compromisos internacionales. Por un lado, se alinea con el *Long-Term Aspirational Goal* (LTAG) adoptado por la Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO, por sus siglas en inglés) en 2022, que establece alcanzar emisiones netas cero en la aviación internacional al 2050, donde los proyectos de carbono azul podrían configurarse como mecanismos de mitigación complementarios al despliegue de otras iniciativas, por ejemplo, a la de transición hacia energías más limpias (ICAO, 2024). Por otro lado, se vincula con el Marco Mundial de Biodiversidad Kunming-Montreal, que plantea proteger y restaurar al menos el 30% de los ecosistemas marinos y costeros al 2030, reforzando la relevancia de conservar hábitats de carbono azul como parte de las metas globales de biodiversidad.

Así, frente a un escenario donde se reconoce el valor del carbono azul para la acción climática, pero persisten desafíos críticos para su despliegue, surge la necesidad de indagar en las condiciones financieras que podrían permitir su desarrollo, especialmente en ecosistemas marinos y costeros en Chile. Este es precisamente el foco de la presente tesis.

**Tabla 1.**

*Glosario operativo*

Captura	Evitación
Proceso de fijación del CO <sub>2</sub> atmosférico en biomasa o sedimentos (IPCC, 2018). Es el paso inicial, genera potencial de almacenamiento. Ej: Fotosíntesis de manglares que acumulan carbono en raíces y hojas	Prevenir liberación de carbono almacenado por degradación/conversión (Griscom et al., 2017). Permite certificar créditos por “emisiones evitadas” (contabilizable en inventarios y mercados). Ej: Conservar marismas para evitar emisiones por drenaje
Carbono Azul	Mercado de Carbono
Carbono capturado por organismos vivos en ecosistemas marinos y costeros, que se almacena tanto en la biomasa como en los sedimentos (IPCC, 2018)	Sistema regulado o voluntario, en el que se transan unidades equivalentes a una tonelada métrica de CO <sub>2</sub> equivalente (tCO <sub>2</sub> e) capturada, evitada o removida, certificada bajo metodologías verificadas (Shockley and Muller, 2023)
Compensación de Emisiones	Mercado Regulado
El IPCC (2022), la define bajo un marco amplio de reducción, prevención o eliminación de emisiones de GEI, sujeto a estrictos criterios de integridad ambiental (esto es prevención de la doble contabilidad y fugas, uso de líneas base adecuadas, adicionalidad y permanencia o medidas para abordar la impermanencia), los estándares de certificación como Gold Standard (2022) lo operacionalizan como la neutralización de emisiones residuales mediante la adquisición y retiro de créditos de carbono equivalentes generados por proyectos	Creado por ley o tratados internacionales, en los que los participantes deben cumplir obligaciones de reducción o compensación de emisiones bajo un marco legal específico (Corbera, Estrada & Brown, 2009; Penn State, 2023)

externos al emisor que certifican reducciones o remociones equivalentes	
<b>Condiciones habilitantes</b>	<b>Mercado Voluntario</b>
Conjunto de factores regulatorios, técnicos, financieros, institucionales y sociales que permiten la viabilidad y sostenibilidad de proyectos de carbono azul. Incluyen marcos normativos claros, metodologías de medición y verificación (MRV) estandarizadas, instrumentos financieros adecuados y capacidades locales de gestión. Su ausencia constituye una de las principales barreras para el desarrollo de iniciativas en países del hemisferio sur (Macreadie et al., 2019; Ministerio del Medio Ambiente & Banco Mundial, 2020).	Opera fuera de marcos regulatorios, en los cuales empresas, organizaciones o individuos adquieren créditos de carbono de manera voluntaria para neutralizar sus emisiones o contribuir a metas climáticas adicionales a las legales (Corbera, Estrada & Brown, 2009; Penn State, 2023)
<b>Economía Azul</b>	<b>Mitigación de Emisiones</b>
Marco económico que promueve el uso sostenible de los recursos marinos y costeros, con el objetivo de mejorar el bienestar humano y la equidad social, al tiempo que reduce los riesgos ambientales y asegura la resiliencia de los ecosistemas (ONU, 2012; Banco Mundial, citados en Selamoglu, 2021)	Conjunto de acciones orientadas a limitar el cambio climático reduciendo las emisiones de GEI o aumentando su captura en sumideros naturales o artificiales. Es el concepto paraguas que abarca tanto reducciones como compensaciones (IPCC AR6 WGIII, 2022)
<b>Ecosistema</b>	<b>Proyectos de Carbono Azul</b>
Sistema dinámico de comunidades de plantas, animales y microorganismos y su entorno no vivo, interactuando como una unidad funcional (IPCC, 2022)	Iniciativas orientadas a la conservación, restauración o creación de ecosistemas vegetados, con el objetivo de evitar emisiones y/o aumentar la remoción de gases de efecto invernadero (GEI) mediante una contabilidad de carbono basada en metodologías oficialmente reconocidas (IPCC, 2013)
<b>Ecosistemas clásicos</b>	<b>Reducción de Emisiones</b>

Ecosistemas vegetados con metodología reconocida para generar créditos de carbono azul, estos son: manglares, marismas y praderas marinas (IPCC, 2013)	Disminución directa de emisiones de GEI en la fuente, evitando que lleguen a la atmósfera (UNFCCC, 2023)
<b>Ecosistemas emergentes</b>	<b>Remoción</b>
Ecosistemas marino-costeros que actualmente no cuentan con metodologías oficiales de contabilización bajo el IPCC, pero que presentan características biofísicas que sugieren un rol relevante en la captura y almacenamiento de carbono. Su inclusión en el marco del carbono azul se encuentra en etapa exploratoria, sujeta a validación científica, metodológica y de gobernanza (Krause-Jensen & Duarte, 2016; James et al., 2024; Sheehy et al., 2024)	Resultado neto de carbono retirado de la atmósfera y fijado de forma medible (Third Way, 2024) <sup>2</sup> . Genera créditos por “remociones certificadas” (contabilizable en inventarios y mercados). Ej: Carbono enterrado en sedimentos de praderas marinas

Fuente: Elaboración Propia

## 1.1 Objetivo general

Analizar tipologías y condiciones financieras de proyectos de carbono azul en Chile, para orientar la inversión público-privada y contribuir a mecanismos de mitigación climática.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- ✓ Clasificar las tipologías de proyectos de carbono azul existentes a nivel internacional, considerando sus características técnicas, ecosistémicas y metodológicas.

<sup>2</sup> El IPCC (2022) define la remoción de carbono en un sentido más amplio y normativo, haciendo énfasis en la actividad antropógena y la permanencia del almacenamiento. Para fines de mercado, se utiliza la definición operativa de resultado neto medible de carbono retirado de la atmósfera, más directamente aplicable a los proyectos de carbono azul.

- ✓ Analizar los ecosistemas y territorios marino-costeros de Chile con potencial para proyectos de carbono azul y vincularlos con las tipologías de proyectos existentes, clásicas o emergentes.
- ✓ Establecer las condiciones financieras necesarias para viabilizar el desarrollo de proyectos de carbono azul en el contexto chileno.

## **1.2 ¿Qué condiciones financieras son necesarias para desarrollar proyectos de carbono azul en Chile, considerando sus tipologías y territorialidad?**

Para abordar la implementación de proyectos de carbono azul en Chile, es crucial comprender las condiciones que permitan su desarrollo, basadas en las tipologías de proyectos y el territorio marino-costero, respectivamente. Si bien la capacidad de estos ecosistemas para contribuir a la mitigación del cambio climático es ampliamente reconocida, su desarrollo efectivo sigue siendo limitado, especialmente en países del hemisferio sur. En el caso chileno, la gran extensión y diversidad ecológica de su costa, sumada a una gobernanza ambiental en proceso de transformación, exige enfoques adaptados al contexto local. Por ello identificar las condiciones financieras no es solo un asunto técnico, sino una necesidad estratégica para avanzar hacia un modelo de desarrollo alineado con los compromisos climáticos nacionales e internacionales.

El interés por el carbono azul se ha intensificado en los últimos años debido a su capacidad de remoción de carbono de forma eficiente, así como por sus co-beneficios. Sin embargo, las barreras existentes, particularmente la escasa disponibilidad de instrumentos financieros adecuados y la dificultad de articular la inversión pública y privada, dificultan la conversión de estas oportunidades hacia proyectos concretos. En este contexto, conocer y sistematizar las condiciones financieras es esencial para transformar las iniciativas en proyectos efectivos, sostenibles y replicables.

Las tipologías de proyectos de carbono azul existentes a nivel internacional, ofrecen una base sólida para guiar este proceso. Cada una posee características técnicas, ecosistémicas y

metodológicas específicas que deben estar en sintonía con las realidades del territorio en el que se encuentra o que se pretende implementar. La territorialidad, por tanto, no sólo hace referencia a lo geográfico, sino que involucra múltiples factores: culturales, normativos, institucionales, sociales y ecológicos que condicionan la viabilidad de los mecanismos financieros a aplicar en Chile.

En esa línea, la presente tesis se guía por la siguiente pregunta: ¿Qué condiciones financieras son necesarias para desarrollar proyectos de carbono azul en Chile, considerando sus tipologías y territorialidad? Se plantea que estas condiciones pueden ser abordadas mediante una ruta estratégica que articule financiamiento climático internacional, inversión pública y mecanismos de mercado, en coherencia con las oportunidades y limitaciones locales.

Para responder esta pregunta, se propone un enfoque basado en tres etapas: clasificación de las tipologías de proyectos de carbono azul existentes a nivel internacional; complementar esta clasificación con un análisis de los ecosistemas y territorios marino-costeros de Chile y vincularlos con las tipologías identificadas; y elaborar una ruta estratégica basada en tipología de proyecto, territorio y condiciones financieras necesarias para su desarrollo.

Con esta propuesta se espera no solo contribuir al cierre de brechas de conocimiento en torno al carbono azul en Chile, sino también ofrecer herramientas aplicables a tomadores de decisión y actores financieros. Esta tesis se justifica por su potencial para contribuir a las NbS, fortaleciendo la planificación estratégica en la gestión marino-costera, aportando a la acción climática desde una mirada territorial, adaptativa y orientada al desarrollo sostenible.

### **1.3 Breve discusión de la literatura**

En los últimos años, la literatura sobre carbono azul ha transitado desde una definición acotada, centrada en manglares, marismas y praderas marinas, hacia un concepto más inclusivo que considera hábitats marino-costeros emergentes (Sheehy et al., 2024; James et al., 2024). Este giro ha permitido diversificar las oportunidades de mitigación, aunque aún

sujeto a validación científica y metodológica. Paralelamente, distintos autores destacan barreras persistentes que limitan el despliegue de proyectos: la falta de marcos regulatorios claros, la escasez de instrumentos financieros adecuados y la insuficiente capacidad técnica local (Macreadie et al., 2022; Sánchez-Arcilla et al., 2022). Estos elementos son particularmente visibles en países del hemisferio sur, donde la extensión costera y diversidad ecológica contrastan con la falta de proyectos en operación (Ballester & Navarro-Harris, 2023).

### **Tipologías de proyectos de carbono azul**

A partir de este marco, es posible distinguir distintas tipologías de proyectos de carbono azul, cuya implementación está mediada por el ecosistema involucrado, el tipo de intervención (conservación, restauración o creación/uso sostenible), su metodología de MRV y su integración en esquemas financieros como los mercados de carbono.

Cada tipología presenta desafíos técnicos y financieros específicos. Por ejemplo, la restauración de manglares requiere un profundo conocimiento del régimen hidrológico local, mientras que en praderas marinas la turbidez del agua puede limitar el éxito del proyecto. A su vez, la acreditación bajo estándares internacionales, por ejemplo como Plan Vivo o Verified Carbon Standard (VCS), no sólo exigen rigor metodológico, sino también recursos financieros y capacidad de gestión diferenciada para su implementación (AGEDI, 2014).

### **Ejemplos internacionales**

Por otro lado, experiencias internacionales como Mikoko Pamoja (Kenia) o Abrolhos Blue Carbon (Brasil), ofrecen aprendizajes clave. Han demostrado que el éxito de proyectos o iniciativas integrales, depende en gran medida de contar con condiciones habilitantes claras: gobernanza participativa, acceso a financiamiento, marcos regulatorios adaptativos y soporte científico continuo (Zaid et al., 2025). Estas lecciones refuerzan la idea de que las

condiciones habilitantes no son universales, sino que deben adecuarse al contexto político, institucional y territorial de cada país.

En el caso chileno, la Propuesta de Hoja de Ruta para el Carbono Azul (Ministerio del Medio Ambiente de Chile & Banco Mundial, 2020) reconoce el alto potencial del país para integrar ecosistemas marinos y costeros en sus compromisos climáticos, pero advierte que su desarrollo requiere un contexto habilitante. Este contexto identifica tres ejes estratégicos: regulación (definir un marco que reconozca al carbono azul e integrarlo en mercados de carbono), capacidades técnicas (generar información detallada y fortalecer capacidades locales), y financiamiento (crear incentivos, esquemas adecuados y fomentar la participación público-privada). En esa misma línea, la “Evaluación bibliográfica del potencial de mitigación y adaptación al cambio climático de los ecosistemas marinos” identifica oportunidades concretas para el contexto chileno: conservación y manejo de macroalgas/kelp, restauración de marismas y praderas marinas, y protección de fiordos/sedimentos someros en Patagonia, y recomienda pasar a pilotos con MRV para cerrar brechas de cartografía, series de datos y trazabilidad, así como articular arreglos de gobernanza y financiamiento que habiliten su escalamiento (Rehbein et al., 2020).

Pese a estas recomendaciones, aún se carece de una articulación operativa que permita vincular estos ejes con las tipologías de proyectos adaptados a las condiciones específicas de cada zona del país, y a diseñar instrumentos que reconozcan estas particularidades. Cabe destacar que esta brecha no sólo limita la acción a nivel nacional, sino que también condiciona la capacidad de articularse con compromisos internacionales más amplios. Estos incluyen acuerdos climáticos como el Acuerdo de París y los marcos científicos del IPCC, así como agendas sectoriales y de biodiversidad: el ODS 14, el LTAG de ICAO como referente clave para la descarbonización del transporte aéreo, y el Marco Mundial de Biodiversidad Kunming-Montreal, que establece la meta de proteger y restaurar el 30% de los ecosistemas marinos y costeros al 2030.

En síntesis, la literatura revisada permite identificar que la principal brecha en Chile no radica en el reconocimiento del potencial del carbono azul, sino en la ausencia de una estrategia que vincule tipologías de proyectos con condiciones habilitantes, especialmente financieras, en un enfoque territorial. Precisamente en esta intersección, entre tipologías, territorio y financiamiento, se sitúa la presente tesis.

#### **1.4 Propuesta metodológica**

Este trabajo se desarrollará bajo un diseño metodológico cualitativo de carácter exploratorio y propositivo, centrado en el análisis documental y comparativo. La elección de esta metodología responde a la necesidad de identificar las condiciones financieras necesarias para el desarrollo de proyectos de carbono azul en Chile, considerando tanto sus tipologías como su aplicabilidad en el contexto territorial marino-costero. El análisis se desarrollará en tres etapas.

##### **Revisión de literatura científica y técnica**

Se realizará un levantamiento y sistematización de artículos académicos, guías metodológicas, reportes, estudios de caso y documentos de política pública nacional e internacional. Esta etapa permitirá caracterizar las principales tipologías de proyectos de carbono azul, sus componentes técnicos, marcos de MRV y, de manera especial, los mecanismos financieros asociados a su implementación. La información recopilada será organizada mediante un análisis temático, según la propuesta metodológica de Braun y Clarke (2006), que permite codificar, categorizar y sintetizar los datos cualitativos de manera sistemática y transparente.

##### **Análisis de ecosistemas y territorialidad chilena**

A través de fuentes institucionales como el Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Corporación Nacional Forestal (CONAF), Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de Chile (Subpesca), entre otros, literatura técnica nacional y bases geoespaciales disponibles, se identificarán y describirán los principales ecosistemas marino-costeros de Chile con

potencial para proyectos de carbono azul. Esta caracterización permitirá vincular los ecosistemas identificados con las tipologías de proyectos de carbono azul descritas previamente, en función de criterios técnicos, ecológicos, normativos y de presión antrópica, evaluando su grado de pertinencia y viabilidad territorial.

### Construcción de una ruta estratégica

A partir del cruce entre tipologías y contextos territoriales, se elaborará una ruta estratégica (Tabla 2) que identifique las condiciones habilitantes, especialmente financieras, necesarias para el desarrollo de proyectos de carbono azul en Chile.

**Tabla 2.**

*Ruta estratégica para el desarrollo de proyectos de carbono azul en Chile*

Zona de Chile	Tipología de Proyecto	Ecosistema Identificado	Indicadores Clave		Co-beneficios	Barreras	Condiciones Habilitantes Financieras	Factibilidad Técnica / Financiera	
Norte / Centro / Sur / Insular	Conservación / Restauración / Creación- Manejo Sostenible	Indicar cuál/es	Rendimiento por ha o unidad que corresponda	\$ / tCO <sub>2e</sub>	Indicar cuáles son	Normativas / Técnicas / Financieras	Indicar cuáles son	Alta / Media / Baja	Alta / Media / Baja

Fuente: Elaboración propia

La construcción de la Tabla 2, se realizará mediante una síntesis en matriz de barreras y condiciones habilitantes, siguiendo la lógica de gobernanza ambiental que reconoce la importancia de sistemas colaborativos y multiescala, que fortalecen la eficacia de las políticas ambientales (Reed et al., 2010; Bodin et al., 2017). Este procedimiento permitirá priorizar proyectos según su factibilidad de implementación, expresada mediante un sistema semafórico de alta, media y baja prioridad, lo que facilita su uso como herramienta práctica de planificación estratégica climática desde un enfoque territorial.

Este enfoque metodológico no contempla el uso de instrumentos cuantitativos, como encuestas o muestreos representativos, dado que el objetivo principal es interpretar,

clasificar y proponer lineamientos a partir de evidencia documental. No obstante, se considerarán criterios de rigurosidad propios del enfoque cualitativo, tales como la triangulación de fuentes, la saturación teórica y la trazabilidad de la información (Guba & Lincoln, 1985).

Finalmente, esta metodología permitirá vincular conocimiento técnico y financiero con la realidad territorial chilena, ofreciendo una propuesta útil tanto para la toma de decisiones en política pública como para actores interesados en desarrollar iniciativas climáticas basadas en la naturaleza.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Definiciones y alcance del carbono azul

#### 2.1.1 Definición y tipologías operativas

En esta tesis se entiende por carbono azul el conjunto de procesos y reservas de carbono asociados a ecosistemas marino-costeros vegetados que capturan CO<sub>2</sub> por fotosíntesis y lo almacenan de forma durable en biomasa y, especialmente, en sedimentos. Para efectos de contabilidad climática, el interés recae tanto en la remoción neta como en la evitación de emisiones al conservar grandes cambios en existencias (en adelante, *stocks*) presentes en suelos y biomasa; el balance se reporta en tCO<sub>2</sub>e mediante metodologías de MRV aceptadas internacionalmente.

El núcleo reconocido por el IPCC para carbono azul lo constituyen tres ecosistemas: manglares, marismas y praderas marinas (en adelante, ecosistemas clásicos).

**Manglares:** Ecosistemas costeros de vegetación leñosa que presentan una estructura de biomasa aérea y subterránea, y almacenan grandes cantidades de carbono tanto en la biomasa viva como en el suelo. El IPCC reporta que los manglares contienen aproximadamente 8 gigatoneladas de carbono (Gt C) en biomasa y suelos combinados a nivel global. Para estimar los cambios de carbono en manglares, la guía IPCC propone metodologías por niveles<sup>3</sup> (Tier 1 a 3), considerando tasas de crecimiento, densidad de madera, proporción entre biomasa aérea y subterránea, y cambios de uso por actividades como drenaje, extracción o reforestación (Green et al., 2021). Las directrices también señalan que, en condiciones de manejo antropogénico (por ejemplo, conversión a estanques, acuicultura o drenaje), los manglares pueden liberar cantidades significativas de CO<sub>2</sub>

---

<sup>3</sup> Un nivel representa un grado de complejidad metodológica. Por lo general, se establecen tres niveles. El nivel 1 es el método básico, el nivel 2 es intermedio y el nivel 3 es el más exigente en términos de complejidad y requisitos de datos. Los niveles 2 y 3 se denominan a veces métodos de nivel superior y, por lo general, se consideran más precisos.

derivadas de la degradación del suelo y la liberación de carbono almacenado. Por otro lado, los manglares protegidos o restaurados, pueden mantener o aumentar sus reservas, ofreciendo servicios climáticos importantes. Su inclusión en inventarios nacionales exige definir actividades relevantes de manejo, así como aplicar factores de emisión o remoción específicos.

**Marismas:** Corresponden a humedales costeros herbáceos sujetos a mareas, con vegetación halófila que contribuye significativamente al almacenamiento de carbono, principalmente en sus suelos en lugar de su biomasa aérea. Según el IPCC, las marismas tienen reservas globales estimadas en torno a 0,8 Gt C en suelos y biomasa combinados. Para el cálculo de cambios en carbono, el IPCC brinda factores predeterminados para relaciones biomasa subterránea / aérea (ratio R) y otras variables, aunque resalta que las metodologías para marismas requieren niveles de detalle superiores (Tier 2 o 3) para consideraciones nacionales. En escenarios de alteración (por drenaje, construcción o manejo humano), las marismas pueden liberar CO<sub>2</sub> a través de la oxidación de materia orgánica del suelo. La guía IPCC aborda estos procesos como actividades antropogénicas que deben considerarse en inventarios.

**Praderas marinas:** Almacenan carbono principalmente en sus sedimentos más que en su biomasa vegetativa. En el *Wetlands Supplement*, se estima que el carbono almacenado en praderas marinas globales está entre 4,2 y 8,4 Gt C, considerando suelos y materia orgánica asociada. Para cuantificar los cambios en carbono en estas praderas, la guía IPCC define factores predeterminados para relacionar biomasa subterránea con la aérea (ratio R), pero enfatiza que para proyectos nacionales es preferible aplicar métodos más detallados, esto es niveles superiores (Green et al., 2021). Un reto metodológico es que muchos cambios de carbono en praderas marinas, pérdida o ganancia, pueden ocurrir por exportación de materia orgánica, esto es Carbono Orgánico Disuelto (DOC, por sus siglas en inglés) o Carbono Orgánico Particulado (POC, por sus siglas en inglés), procesos de erosión o

sedimentación, variables que la guía sugiere incorporar con metodología adecuada más allá de los estimados por defecto.

Este alcance operativo se circunscribe a ambientes costeros y de plataforma somera, aproximadamente hasta 200 metros de profundidad, coherente con la práctica de inventarios y estándares. Otros hábitats marino-costeros de interés científico, como macroalgas/kelp, se abordan en esta tesis como ecosistemas emergentes dado su potencial, pero no forman parte del núcleo IPCC y, por lo tanto, su inclusión en contabilidad depende de avances metodológicos específicos.

Adicionalmente, la acción climática basada en los ecosistemas de carbono azul se articula en tres ejes complementarios. La conservación, que busca mantener y proteger ecosistemas existentes para evitar su degradación y la liberación del carbono almacenado, y mantiene funciones ecosistémicas clave, un ejemplo de esto es la protección de manglares. La restauración que, en cambio, apunta a recuperar ecosistemas (sus procesos biofísicos y geoquímicos) degradados, a través de medidas como la rehabilitación de marismas o la recuperación de flujos hidrológicos, contribuyendo a mejorar la capacidad de secuestro. Y la creación o manejo sostenible, que busca generar nuevos ecosistemas que sustituyan a los destruidos por el desarrollo, o mejorar áreas sin cobertura vegetal significativa, mediante intervenciones como el intercambio mareal regulado o cultivo de praderas marinas en áreas degradadas, contribuyendo no solo a la mitigación sino también a la protección costera, la biodiversidad y los medios de vida locales, aunque enfrenta limitaciones relacionadas con la dificultad de replicar plenamente las condiciones de los ecosistemas originales (Macreadie et al., 2019; IPCC, 2019).

### **2.1.2 Unidad contable y límites**

La unidad contable es tCO<sub>2</sub>e. El *stock* y los flujos de carbono se estiman en tC y se convierten a CO<sub>2</sub>e con el factor estequiométrico 44/12 (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005). Cuando corresponde, se incluyen las emisiones

no-CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) aplicando los potenciales de calentamiento global a 100 años (GWP100) de acuerdo con las guías del IPCC y/o el estándar metodológico utilizado (GHG Protocol, 2024). Los resultados se reportan como un balance neto de GEI, esto es remociones menos emisiones, en tCO<sub>2</sub>e, informando la incertidumbre y aplicando criterios conservadores para evitar sobreestimaciones. Esta contabilidad se basa en la traducción de procesos ecológicos (productividad primaria, acreción y entierro de carbono en suelos) a magnitudes contables, y en la práctica, el diseño muestral y la capacidad analítica de laboratorio son tan determinantes como la intervención ecológica. Sin una base de datos robusta, la integridad del resultado se debilita aun cuando la intervención sea técnicamente sólida (IPCC, 2013; Howard et al., 2014).

Los límites definen qué *stocks* de carbono, biomasa aérea y subterránea, materia orgánica muerta/hojarasca y, especialmente, suelo orgánico, y qué flujos (fuentes o sumideros) de GEI se incluyen en la cuantificación (IPCC, 2013). En los ecosistemas costeros vegetados, el Carbono Orgánico Total (TOC), que comprende tanto el DOC como el POC, constituye la principal variable utilizada para estimar el *stock* y flujos de carbono azul en suelos y sedimentos. Este se mide y reporta hasta 1 metro de profundidad, e incorpora parámetros complementarios como la densidad aparente y la humedad del suelo, para expresar el *stock* en unidades comparables por superficie (IPCC, 2013; Howard et al., 2014). El límite espacial corresponde al polígono de intervención o área de influencia y, cuando aplica, se documenta una determinada área para el seguimiento de fugas (desplazamientos de actividad) y se explicitan exclusiones con sustento metodológico (Emmer et al., 2014). Según Verra (2024), el límite temporal es aquel que cubre el período de acreditación y el horizonte de permanencia establecidos por el estándar, incluida la gestión del riesgo de no permanencia. Además, se contabilizan emisiones del proyecto, como insumos y operaciones de restauración, y justifican explícitamente los gases incluidos (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O), conforme a tablas de inclusión/exclusión de la metodología aplicada. En línea con IPCC y manuales técnicos, la contabilidad de carbono azul se centra en el carbono orgánico de suelos y biomasa, mientras que el carbono inorgánico carbonatado, por ejemplo, de

conchas/arrecifes, no forma parte del núcleo metodológico en estos ecosistemas (Howard et al., 2014).

Por su parte, la línea base es la estimación contrafactual de emisiones/remociones sin proyecto, construida como escenario de línea base o estándar de desempeño, frente a la cual se calculan reducciones/remociones. Esta puede ser estática (es decir, de parámetros estables, mayor simplicidad) o bien, dinámica (se actualiza ante condiciones cambiantes, mayor integridad, pero más costos e incertidumbre), y siempre posee un período de validez finito o un horizonte de revisión, tras el cual se actualiza o cesa el reconocimiento de reducciones. En todos los casos debe ser plausible, transparente y conservadora, y consistente con inventarios nacionales para evitar doble contabilidad (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005). Operativamente, en conservación lo que vale es evitar la pérdida de *stock* por conversión o degradación (ejemplo: rellenos, dragado, drenaje) sustentada en tasas históricas, presiones y planificación territorial. En restauración, lo que vale es la ganancia adicional de biomasa y acreción/entierro en suelos respecto de la persistencia del estado degradado (Verra, 2023). Y en creación/manejo sostenible, lo que vale es la habilitación de función en sitios sin cobertura o con condiciones subóptimas, donde los créditos reflejan el incremento adicional atribuible a la intervención (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005; American Carbon Registry, 2023).

Finalmente, la validez temporal estática o dinámica incide en el riesgo metodológico y en los costos, esto es: más actualización, más costos, pero mayor integridad. Y los límites del proyecto deben considerar fugas por desplazamiento de actividad y efectos de mercado, monitoreando si la intervención traslada presiones a otras áreas o induce sustituciones que disminuyen el beneficio neto (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005; American Carbon Registry, 2023; Verra, 2023).

### 2.1.3 Criterios de integridad ambiental

Los proyectos de carbono azul deben demostrar integridad ambiental para que sus resultados climáticos sean creíbles y comparables. En ese sentido, la integridad se operacionaliza a través de cinco componentes: adicionalidad, permanencia, fugas, MRV y salvaguardas contables (no doble contabilidad y conservadurismo). Estos criterios operan sobre la contabilidad definida en 2.1.2 (unidad, límites, línea base y validez).

**Adicionalidad:** El proyecto debe generar reducciones o remociones que no ocurrirían en el escenario sin proyecto, la evidencia se sustenta en la línea base definida, la definición de barreras (técnicas, financieras, regulatorias) y presiones documentadas (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005; American Carbon Registry, 2023; Verra, 2023).

**Permanencia:** Exige demostrar la durabilidad del carbono almacenado ante riesgos naturales, de manejo e institucionales, con gestión a través de planes de manejo, como hidrología y control de disturbios, y la aplicación de la herramienta *Agriculture, Forestry and Other Land Use* (AFOLU) de evaluación de riesgos, que determina el aporte a la reserva de no permanencia (*buffer*) descontando una fracción de los créditos para cubrir eventuales reversiones (tormentas, erosión, SLR/hundimiento del terreno o subsidencia, fallas de gobernanza o de desempeño). Por lo tanto, la permanencia se vincula al período de acreditación y al horizonte definido por el estándar, y el tamaño del *buffer* incide directamente en el ingreso neto del proyecto y en el diseño del instrumento financiero (Verra, 2023; Verra, 2024).

**Fugas:** Conecta el desempeño ecológico local con dinámicas espaciales y de mercado, si la presión se desplaza fuera del polígono (extracción, rellenos, drenajes) el beneficio neto disminuye. Por ello, las metodologías exigen delimitar un área de influencia, identificar y monitorear posibles desplazamientos mediante indicadores indirectos (licencias, uso del suelo, producción/consumo) y, cuando corresponda, aplicar descuentos con supuestos

conservadores para reflejar estos efectos, aun cuando dicha vigilancia incremente costos, porque sin ella se compromete la integridad del resultado (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005; American Carbon Registry, 2023; Verra, 2023).

**MRV:** Operacionaliza la contabilidad climática mediante (i) cobertura de *stock* y GEI (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) con justificación de exclusiones; (ii) diseño muestral (estratificación, número de muestras y suelos hasta 1 m salvo justificación técnica); (iii) cálculo (selección de tiers y factores de emisión) y tratamiento de la incertidumbre a través del IC 95% con un plan de QA/QC que asegure calidad de datos y trazabilidad: QC (protocolos, calibraciones, duplicados, controles de laboratorio, validaciones y doble revisión) y QA (verificación independiente, auditorías y ensayos interlaboratorio); y (iv) verificación independiente con trazabilidad documental. En términos operativos y de costos, la conservación tiende a un MRV medio (línea base crítica y monitoreo de presiones), la restauración a MRV medio–alto (series de suelo y biomasa, verificación intensiva), y la creación/manejo sostenible a MRV alto (atribución más compleja, mayor incertidumbre y controles adicionales) (IPCC, 2013; Howard et al., 2014; Verra, 2023; American Carbon Registry, 2023).

**Salvaguardas contables:** Exigen evitar la doble contabilidad, esto es doble emisión, doble uso o doble reclamación, y asegurar trazabilidad mediante registros con seriales únicos, reglas claras de emisión/uso/retiro, y consistencia con inventarios nacionales o NDC (incluidos ajustes correspondientes cuando proceda). Además, ante la incertidumbre, debe aplicarse conservadurismo para no sobreestimar beneficios. Sin estas salvaguardas, el valor climático de los resultados se diluye aún si los procesos biofísicos y el MRV son técnicamente sólidos (ICVCM, 2024; Verra, 2023; IPCC, 2013; World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005).

#### **2.1.4 Ecosistemas clásicos y emergentes**

Con fines de análisis, se presentan en una matriz única (Tabla 3) los ecosistemas clásicos y emergentes usando criterios homogéneos, esto es: vía principal de carbono azul, madurez metodológica, notas de MRV/co-beneficios, presencia en Chile (que indica evidencia general a desarrollar en punto 2.3), y enfoque de esta tesis como baja, media o alta, respectivamente, que se deriva de un puntaje que considera la madurez metodológica MRV y la relevancia territorial en Chile, según lo descrito en Anexo 7.1.

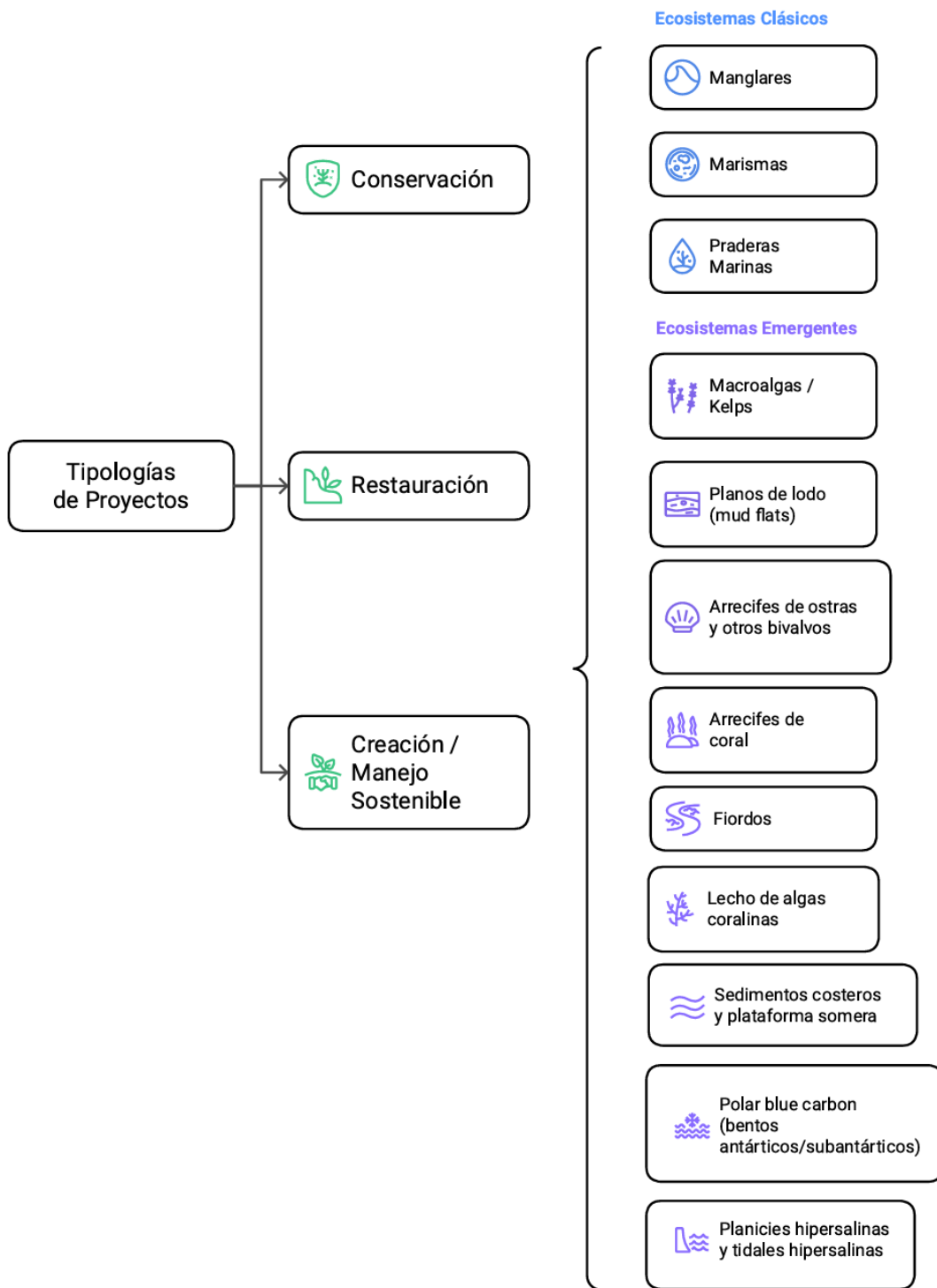
La inclusión en esta tabla no implica viabilidad de proyecto, solo es una clasificación. El detalle de los ecosistemas clásicos se expuso en 2.1.1 y aquí se incluye la información mínima para su comparación con los ecosistemas emergentes, cuyo desarrollo ampliado se remite al Anexo 7.2. Adicionalmente, en el Anexo 7.3 se encuentra un resumen de las principales características de ecosistemas clásicos y emergentes, respectivamente.

**Tabla 3.***Matriz de ecosistemas clásicos y emergentes*

Clasificación	Ecosistema	Vía principal de carbono azul	Madurez metodológica (IPCC / en estudio / incipiente)	Notas (MRV / co-beneficios)	Presencia en Chile (Sí / Puntual / No)	Enfoque de tesis (Alta / Media / Baja)	Oportunidad de desarrollo en Chile (Rehbein et al., 2020)
CLÁSICO	Manglares	Alta producción y entierro en sedimentos anóxicos; grandes <i>stocks</i> en suelos.	IPCC (2013)	MRV disponible; protección costera, hábitat	No	Media	No
CLÁSICO	Marismas	Biomasa y entierro sedimentario de largo plazo.	IPCC (2013)	MRV disponible; biodiversidad; control de inundación	Sí (estuarios seleccionados)	Alta	Sí
CLÁSICO	Praderas marinas	Producción submareal, entierro de materia orgánica y estabilización de sedimentos.	IPCC (2013)	MRV disponible; estabilización de sedimentos, hábitat	Puntual (sitios localizados)	Alta	Sí
EMERGENTE	Macroalgas/kelp (silvestres y cultivo)	Exportación de detritos a zonas profundas/anóxicas; potencial de cultivo como sumidero gestionado.	No IPCC (en estudio)	Incertidumbre en adicionalidad/atribución; co-beneficios altos	Sí (extenso)	Alta	Sí
EMERGENTE	Planos de Lodo ( <i>Mud Flats</i> )	Secuestro y entierro de carbono orgánico en sedimentos.	No IPCC (incipiente)	Balance GEI puede variar (CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /N <sub>2</sub> O)	Puntual (estuarios)	Baja	No
EMERGENTE	Fiordos	Altas tasas de sedimentación y entierro de carbono terrígeno y marino.	No IPCC (en estudio)	Atribución a manejo local difícil; valor como reservorio	Puntual (Patagonia)	Media	Sí
EMERGENTE	Lecho de algas coralinas ( <i>coralline algal beds</i> )	Retención/entierro de C orgánico en sedimentos adyacentes y almacenamiento inorgánico de largo plazo.	No IPCC (incipiente)	Balance fotosíntesis-calcificación incierta	Puntual (registros locales)	Baja	No

Clasificación	Ecosistema	Vía principal de carbono azul	Madurez metodológica (IPCC / en estudio / incipiente)	Notas (MRV / co-beneficios)	Presencia en Chile (Sí / Puntual / No)	Enfoque de tesis (Alta / Media / Baja)	Oportunidad de desarrollo en Chile (Rehbein et al., 2020)
EMERGENTE	Arrecifes de coral ( <i>coral reef system</i> )	Secuestro de C orgánico en sedimentos y almacenamiento inorgánico en carbonatos.	No IPCC (incipiente)	Balance neto controvertido; prioridad conservación	Puntual (en islas oceánicas)	Baja	No
EMERGENTE	Arrecifes de ostras y otros bivalvos ( <i>shellfish reefs</i> )	Deposición de materia orgánica (bio-depósitos) y carbonato en conchas.	No IPCC (incipiente)	Calcificación puede emitir CO <sub>2</sub> ; co-beneficios de hábitat.	Puntual (bancos, no "arrecifes" robustos)	Baja	No
EMERGENTE	Sedimentos costeros y plataforma somera	Enterramiento difuso de carbono orgánico autóctono y alóctono.	No IPCC (en estudio)	Entierro difuso. Adicionalidad y MRV complejos	Sí (amplia distribución)	Alta	Sí
EMERGENTE	Polar blue carbon (bentos antárticos/subantárticos)	Acumulación en sedimentos bentónicos antárticos/subantárticos.	No IPCC (evidencia en aumento; MRV in situ incipiente)	Gobernanza internacional (Sistema del Tratado Antártico/Protocolo de Madrid); atribución a manejo local baja; prioridad: conservación e investigación	Puntual (Región Antártica Chilena; no en el continente chileno)	Baja	No
EMERGENTE	Planicies hipersalinas ( <i>sabkhas</i> o <i>salt flats</i> )	Acumulación de C orgánico bajo condiciones anóxicas.	No IPCC (incipiente)	Evidencia incipiente; contexto árido-especializado	No	Baja	No

Fuente: Elaboración propia



**Figura 1.** Tipologías de proyectos con ecosistemas clásicos y emergentes de carbono azul

Fuente: Elaboración propia

## 2.2 Puente biofísico–financiero

### 2.2.1 Integridad ambiental e integridad financiera

La integridad ambiental de proyectos de carbono azul proporciona una base verificable para convertir procesos ecológicos en créditos cuantificados y auditables, con riesgos identificados y gestionados; sin una línea base sólida, un MRV robusto y salvaguardas contables, no es posible sustentar una evaluación de riesgo–retorno ni la estructuración financiera de calidad (IPCC, 2013; World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2005; Verra, 2023; ICVCM, 2024). El detalle técnico de cobertura de *stocks* y GEI, diseño muestral, IC 95% y QA/QC, se presenta en la sección 2.1.3, aquí se enfatizan sus implicancias operativas y financieras (costos, riesgos y previsibilidad).

En términos operativos, la calidad del MRV determina el volumen comercializable y su previsibilidad: (i) la incertidumbre estadística y las exclusiones conservadoras reducen créditos netos; (ii) la permanencia, tamaño del *buffer* según riesgo (Verra, 2024) descuenta una fracción adicional; (iii) las fugas potenciales obligan descuentos o monitoreo ampliado; y (iv) los ciclos de verificación y los costos de muestreo/laboratorio impactan el OPEX, especialmente en restauración y creación/manejo sostenible. Estos factores explican por qué proyectos con tipología idéntica pueden mostrar perfiles de riesgo–retorno distintos según sitio, gobernanza y madurez metodológica. Estos insumos, los utiliza la integridad financiera para estructurar riesgos, costos e instrumentos.

La integridad financiera, en consecuencia, se evalúa en función de su perfil riesgo–retorno, su costo total (CAPEX, OPEX, MRV y certificación, gobernanza/participación) y su adecuación a instrumentos financieros aplicables en la práctica. El objetivo no es maximizar reducciones sin sustento verificable, sino estructurar flujos y garantías que soporten todo el ciclo de vida del proyecto, con legitimidad y aceptación social. En la Economía Azul, esta integridad exige alinear riesgo–retorno con salvaguardas ambientales y sociales (E&S), evitar, mitigar o compensar impactos, como Estándares de Desempeño IFC, y con la hoja de ruta climática

(Acuerdo de París). La transparencia MRV y el reporte de impacto atraen capital, mientras que la certificación y verificación inciden en el OPEX. A su vez, infraestructura y tecnología como la descarbonización logística, resiliencia portuaria y combustibles alternativos, determinan el CAPEX y los plazos coherentes con la maduración biofísica de los proyectos. En lo instrumental, los bonos azules/verdes financian usos elegibles, y los préstamos/bonos vinculados a la sostenibilidad (SLL/SLB, por sus siglas en inglés) ajustan condiciones financieras al logro de indicadores y metas (KPIs y SLTs, respectivamente). Cuando hay mayor incertidumbre o riesgo tecnológico, se complementa con garantías, *blended finance* y esquemas *pay-for-performance*. La estructuración debe cubrir todo el ciclo de vida, incluido el desmantelamiento, aplicar gestión de riesgos E&S cuando la evitación no sea posible y asegurar gobernanza, comités ESG, rendición de cuentas y participación. La legitimidad social, esto es beneficios tangibles, equidad e inclusión, resguardo de derechos, junto con planificación espacial marina y consulta a partes interesadas reduce el conflicto y riesgo reputacional, sosteniendo la continuidad financiera y operativa del proyecto (UNEP FI, 2021; International Capital Market Association, 2023; International Finance Corporation, 2025).

### **2.2.2 Correspondencia tipología-instrumento: biofísica, MRV y finanzas**

Encajar tipologías con instrumentos exige integrar lo biofísico, los requisitos MRV, plazos y riesgos, con la lógica financiera de cada herramienta. El criterio general es alinear la estructura de pagos con la curva de generación de valor climático y con el perfil de riesgos de cada tipología/ecosistema.

#### **Asignación preliminar por tipología/ecosistema**

En esta tesis se adopta una regla práctica para mapear instrumentos financieros según la madurez metodológica y exigencia MRV: (i) los ecosistemas clásicos, con metodologías consolidadas (IPCC/estándares), se asocian preferentemente a mecanismos con contabilidad verificable por tCO<sub>2</sub>e (créditos en mercado voluntario) complementados, cuando el promotor es corporativo, con SLL/SLB; (ii) los ecosistemas emergentes, con MRV

en desarrollo, se vinculan en primera instancia a instrumentos de innovación (*blended finance*, fondos públicos de innovación, *pay-for-performance*) y a Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE)/co-beneficios; la entrada a mercados de carbono queda supeditada a avances en MRV.

En cuanto a las tipologías, en conservación los flujos son recurrentes (OPEX de protección, monitoreo y administración) y el riesgo central es que la presión reaparezca (riesgo de fuga fuera del área y de reversión del uso de suelo), por lo que conviene anclar esquemas condicionales como PSE que es un pago que se realiza sólo si se verifica la provisión o uso acordado, incorporar mecanismos de permanencia como servidumbres u obligaciones de uso posteriores al contrato, figuras tipo Reserva Legal donde aplique, y separar fondos para gestión de los pagos a proveedores. En tipologías de conservación, estos casos se financian mejor con mecanismos estables: PSE con contratos renovables, *trusts/endowments* territoriales que generen rendimientos para gasto plurianual, y fuentes públicas predecibles (tasas/cargos por agua, impuestos verdes) que aseguren continuidad; cuando exista cartera/escala, pueden complementarse con instrumentos de deuda de uso de fondos alineados a principios del mercado como por ejemplo bonos azules, para cubrir necesidades multianuales, manteniendo siempre gobernanza y trazabilidad del uso de recursos (Greiber, 2009; International Capital Market Association, 2023; International Finance Corporation, 2025). El retorno monetario proviene del ahorro de externalidades, transferencias condicionadas y, en su caso, de créditos de carbono de evitación.

En restauración, el cuello de botella es el CAPEX inicial y el riesgo tecnológico/ecológico (por ejemplo, reestablecer hidrología o revegetar praderas). Aquí conviene un *blended finance* que combine donación (primeras pérdidas), deuda concesional/garantías, y capital privado anclado en pagos por desempeño, esto es créditos de carbono verificados o Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE) (International Finance Corporation, 2025; International Capital Market Association, 2023; UNEP FI, 2021). Los convenios de verificación y los hitos

MRV deben quedar incorporados en los *covenants* del instrumento para alinear desembolsos con resultados.

En creación/manejo sostenible (pilotos, manejo adaptativo, cultivo), el riesgo de incertidumbre y atribución es alto, por lo tanto, requieren concesionalidad mayor y garantías o SLB con metas realistas y escalonadas (International Capital Market Association, 2023). El valor reside tanto en el aprendizaje como en la habilitación regulatoria o MRV que reduce el riesgo sistémico futuro. Por ello, filantropía estructurante y fondos públicos de innovación son piezas clave (UNEP FI, 2021; International Finance Corporation, 2025).

Los canjes de deuda por naturaleza y otras estructuras soberanas/para-soberanas pueden liberar espacio fiscal para financiar OPEX de conservación y monitoreo de AMP mediante flujos previsibles y multianuales, siempre que existan condiciones habilitantes: masa crítica de deuda (descuento significativo o muros de vencimiento que ameriten refinanciación), mejora crediticia/garantías a costos razonables, y gobernanza fiduciaria transparente (ejemplo, *trust fund* con reglas de desembolso y rendición de cuentas). En ausencia de estos elementos, la operación pierde justificación económica y de impacto (World Bank, 2024; FinDev Lab, 2024). Esos mecanismos no son sustitutos del MRV ni de la integridad ambiental, sólo aseguran continuidad. Por su parte, la demanda (precio/liquidez) de créditos de carbono afecta el retorno, pero el diseño financiero no debe basarse en supuestos de precios optimistas. Sirven como contexto los marcos de señal de precio (impuestos/ETS) y los glosarios para consistencia terminológica como el *World Bank Carbon Pricing Dashboard* o *The Climate Dictionary* de la UNDP, mientras que la calidad del crédito se ancla en estándares y criterios de integridad (ICVCM, 2024). En resumen, el retorno razonable proviene de múltiples flujos: créditos verificados, PSE, subvenciones, ahorros o cobertura de riesgos; la gobernanza y el reparto de beneficios condicionan su legitimidad y continuidad (Greiber, 2009; UNEP FI, 2021).

En restauración las tareas locales como: viveros de plantas, recolección/siembra, monitoreo comunitario, se atan a SLL/SLB o PSE mediante KPIs operativos (supervivencia de plantines,

cobertura, turbidez). Los hitos MRV como línea base, suelo 1 m más densidad aparente, IC 95% y auditoría, gatillan desembolsos en *blended* o *pay-for-performance*. El detalle de escala/roles y su medición se precisa en el punto 2.4.3 (variables e indicadores) y 3.3 (Umbrales).

## **2.3 Estado del arte y contexto Chile/Latinoamérica**

### **2.3.1 Territorialidad (MEOW) y macrozonas de Chile**

Para la escala biogeográfica global se mantiene MEOW (*Marine Ecoregions of the World*) útil para comparaciones y representatividad (Spalding et al., 2007). Sin embargo, para la gestión y priorización en Chile conviene usar la “Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la ZEE” del MMA, que integra MEOW con zonificación nacional (Jaramillo et al., 2006) y criterios físico-ecológicos, y precisamente fue desarrollada para apoyar decisiones públicas de conservación y planificación, no como línea base de proyectos individuales (Rovira & Herreros, 2016).

#### **Aplicación a Chile**

Para la resolución ecosistémica nacional, además del marco biogeográfico MEOW, se adopta la Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la ZEE del Ministerio del Medio Ambiente, que integra zonificación litoral y criterios físico-ecológicos (profundidad, sustrato, surgencia, geofformas; fiordos y canales en Patagonia) y entrega un inventario operativo para priorización a escala país (Rovira & Herreros, 2016). Con base en MEOW para el relato macro (reinos/provincias) y en la clasificación del MMA para la resolución ecosistémica dentro de la ZEE, esta tesis trabajará por macrozonas (Norte, Centro, Sur e Insular/Patagonia) mapeando, en cada una, las ecorregiones y ecosistemas pertinentes; esto no anticipa viabilidad de proyecto, pero define el espacio de búsqueda para cruzar presencia de ecosistemas con presiones/uso y, luego, con madurez metodológica/MRV (2.3.2) para derivar el encaje financiero (2.2.2 y 2.4). (Rovira & Herreros, 2016; Spalding et al., 2007).

A partir de lo anterior y de la Tabla 3, se obtiene la siguiente distribución de ecosistemas en las respectivas macrozonas de Chile. En el Anexo 7.5 se presenta la superficie que abarcan los diferentes ecosistemas en Chile.

**Tabla 4.**

*Distribución de ecosistemas por macrozona chilena y provincia MEOW*

Macrozona	Provincia MEOW	Ecosistemas marino-costeros (Rovira & Herreros, 2016; Rehbein et al., 2020)
Norte	Pacífico Sudoriental Templado-Cálido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Litoral/epibentónico con influencia de surgencia</li> <li>- Sustrato rocoso (idóneo para macroalgas/kelp)</li> <li>- Sustratos blandos estuariales (presencia de marismas)</li> <li>- Playas y bahías protegidas (foco principal en praderas marinas)</li> </ul>
Centro	Pacífico Sudoriental Templado-Cálido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Litoral/epibentónico con sustrato rocoso (macroalgas/kelp)</li> <li>- Sustratos blandos estuariales (marismas)</li> <li>- Arenas protegidas (praderas marinas, foco secundario).</li> </ul>
Sur	Magallánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiordos y canales</li> <li>- Litoral/epibentónico rocoso (macroalgas/kelp)</li> <li>- Sustratos blandos estuariales (marismas, presencia puntual)</li> <li>- Praderas marinas localizadas en bahías reparadas</li> </ul>

Macrozona	Provincia MEOW	Ecosistemas marino-costeros (Rovira & Herreros, 2016; Rehbein et al., 2020)
Insular/Patagonia	Juan Fernández y Desventuradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plataformas y relieves rocosos insulares (macroalgas/kelp)</li> <li>- Influencia oceánica y geoformas asociadas (ejemplo: montes submarinos)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con base en MEOW (Spalding et al., 2007) y la Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la ZEE (MMA) para la resolución ecosistémica (Rovira & Herreros, 2016).

Si bien la clasificación de ecosistemas marinos de la ZEE chilena reconoce también la ecorregión oceánica de Isla de Pascua–Salas y Gómez como unidad insular diferenciada (Rovira & Herreros, 2016), en esta tesis dicha ecorregión se excluye del análisis comparativo por dos motivos: (i) su perfil ecosistémico insular y oceánico no se superpone con los humedales costeros vegetados que constituyen el núcleo metodológico actual del carbono azul (ecosistemas clásicos) y (ii) la evidencia MRV aplicable a sus ecosistemas relevantes se encuentra en una etapa aún incipiente. En consecuencia, la macrozona Insular considerada en la Tabla 4 se restringe al archipiélago de Juan Fernández y Desventuradas, que comparte más atributos funcionales con los ecosistemas emergentes analizados en el Capítulo 2.

Para priorizar zonas con alto potencial, se utiliza la partición MEOW en conjunto con la clasificación de ecosistemas marinos de la ZEE y antecedentes sobre Áreas Marinas Protegidas (AMP), Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) y reportes de ecosistemas, a fin de mapear oportunidades por macrozona y asignar tipología–instrumento en función de la presencia de ecosistemas, el régimen de uso y las presiones relevantes.

Con ese marco espacial establecido, la madurez metodológica por ecosistema (2.3.2) condiciona la exigencia MRV y el riesgo de permanencia; de allí se desprenden las opciones financieras priorizables en cada macrozona, según los criterios de correspondencia tipología–instrumento (2.2.2) y la matriz de síntesis (2.4).

### **2.3.2 Madurez metodológica por ecosistema**

La madurez metodológica de los ecosistemas de carbono azul constituye un indicador de qué tan avanzada se encuentra la estandarización de sus métodos de cuantificación, MRV, así como la disponibilidad de factores de emisión y remoción a nivel nacional o regional. Este aspecto es fundamental, ya que define la confiabilidad de los resultados y la posibilidad de certificar créditos de carbono con integridad ambiental y financiera (IPCC, 2013; Verra, 2023; ICVCM, 2024). En otras palabras, la madurez metodológica refleja el grado de consolidación científica y técnica que permite traducir procesos ecológicos en activos financieros verificables.

A nivel global, los ecosistemas clásicos, poseen metodologías consolidadas y aceptadas por el IPCC y estándares de mercado, como VM0033 o ACR WR-MF. Estos ecosistemas comparten características que facilitan la cuantificación de carbono: un alto contenido de carbono orgánico en sus suelos, ciclos biogeoquímicos bien estudiados y metodologías replicables. Por ello, son considerados la base metodológica del carbono azul y el punto de referencia para nuevas tipologías. En contraste, los ecosistemas emergentes presentan una madurez menor, debido a las dificultades para demostrar adicionalidad y permanencia, así como la falta de consenso científico sobre los flujos de carbono exportado (DOC/POC) y su destino final (Krause-Jensen & Duarte, 2016; James et al., 2024). Estas limitaciones metodológicas restringen su inclusión en inventarios nacionales, aunque ofrecen un enorme potencial para diversificar la cartera de proyectos en países con alta heterogeneidad costera como Chile.

La Tabla 3, muestra el estado actual de madurez metodológica por ecosistema, clásico y emergente, así como la oportunidad de desarrollo de los mismos en Chile.

En consecuencia, mientras los ecosistemas clásicos ofrecen bases sólidas para la implementación inmediata de proyectos certificados, los emergentes requieren avanzar en investigación y validación de MRV ya que si bien su potencial para capturar y almacenar carbono es significativo, la falta de metodologías aprobadas implica que, en el corto plazo, el financiamiento se oriente hacia instrumentos de innovación o *blended finance* para que puedan habilitar su posterior ingreso a mercados de carbono consolidados. Esta diferenciación será retomada en la matriz de la sección 2.4, donde la madurez metodológica define en parte la factibilidad financiera y territorial de cada tipo de proyecto.

### **2.3.3 Barreras regulatorias y técnicas (incluye datos/información) en Chile/Latinoamérica**

El desarrollo de proyectos de carbono azul en Chile y Latinoamérica enfrenta barreras regulatorias y técnicas. Estas últimas incluyen la dimensión de datos e información (series históricas, metadatos, resolución y trazabilidad), dado que el MRV requiere métodos, laboratorios y evidencia empírica suficiente para líneas base y verificación. En conjunto, estas barreras condicionan la integridad ambiental y la factibilidad financiera de los proyectos.

En el ámbito regulatorio, la ausencia de un marco jurídico específico que reconozca la captura y almacenamiento de carbono azul impide definir derechos de uso o propiedad sobre los créditos generados. Los múltiples actores con competencia sobre el borde costero como el MMA, Subpesca, Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR), Bienes Nacionales) generan superposiciones y vacíos que dificultan la obtención de permisos o la delimitación de áreas de proyecto. Además, la falta de integración entre las AMPs y los mecanismos de contabilidad de carbono puede generar riesgo de doble contabilidad y pérdida de integridad climática.

Las barreras técnicas se vinculan a la falta de protocolos nacionales estandarizados para MRV de carbono en suelos costeros, especialmente a la profundidad de referencia de 1 m,

definida por el IPCC. La falta de laboratorios acreditados y de capacidades locales para análisis de TOC o densidad aparente eleva los costos de verificación y retrasa la certificación ante estándares internacionales. Y en cuanto a brechas de datos e información, afectan directamente la precisión del MRV. En Chile, la carencia de series históricas y metadatos completos limita la capacidad de construir líneas base robustas o de calibrar factores de emisión locales, mientras que la escasa interoperabilidad entre bases institucionales como el MMA, Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), reduce la trazabilidad y transparencia del proceso de contabilidad.

En conjunto, estas barreras explican por qué el país aún no cuenta con una cartera consolidada de proyectos de carbono azul, pese a su amplio potencial territorial. Enfrentarlas, requiere coordinar esfuerzos institucionales, estandarizar el MRV con calidad de datos y fortalecer capacidades científicas locales.

Para la matriz 2.4.1 las condiciones habilitantes derivadas de las barreras son:

**Regulatorio.** Tenencia y permisos en costa y fondo de mar, compatibilidad con AMP, resguardos de doble contabilidad y consistencia con NDC, exigencias de consulta y participación vinculante cuando corresponda.

**Técnico-datos.** Profundidad de suelo 1 m y densidad aparente incluidas en protocolos, series históricas y resolución espacial suficientes, laboratorios con QA/QC, metadatos y trazabilidad del muestreo/almacenamiento, frecuencia y método de verificación.

**Riesgos de permanencia y fugas.** Identificación de drivers (SLR, tormentas, hundimiento del terreno o subsidencia, presiones de uso) y plan de manejo, *buffer* según metodología, área de influencia para monitoreo de fugas.

**Institucional/social.** Mecanismos de *benefit-sharing*, gobernanza local (comités, roles y rendición de cuentas), mecanismos de queja y salvaguardas E&S activas.

#### 2.3.4 Capacidades y demanda de mercado

El desarrollo inicial de proyectos de carbono azul depende no solo de las condiciones ecológicas y regulatorias, sino también de la capacidad técnica y la demanda de mercado capaz de sostenerlos. Chile cuenta con una base científica sólida en materia oceánica y costera, sustentada en universidades y centros de investigación como la Universidad de Concepción, la Universidad Austral, la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (PUCV) y el Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP). Asimismo, instituciones públicas como SHOA, IFOP y MMA poseen información relevante y podrían articular un sistema nacional de monitoreo costero. Pese a las capacidades existentes, se mantienen brechas técnicas y operativas: no existen verificadores locales acreditados en metodologías de carbono azul y la infraestructura analítica (laboratorios costeros con QA/QC estandarizado) sigue siendo insuficiente. La verificación independiente y el monitoreo de estos proyectos suelen implicar costos y tiempos mayores que en iniciativas terrestres, debido a la complejidad logística del muestreo costero y a la limitada disponibilidad de verificadores especializados. Estos factores reducen la competitividad relativa de los proyectos, especialmente en etapas piloto (Howard et al., 2014; Verra, 2023).

Desde el punto de vista de la demanda, tres segmentos principales configuran el panorama actual: (i) Corporativo internacional, compuesto por empresas con metas de emisiones netas cero o participación en determinados esquemas, como CORSIA (el primer esquema global basado en mercado aplicado a la aviación, que complementa las reducciones propias del sector para avanzar hacia la meta de crecimiento neutro en carbono), interesadas en créditos con alta integridad (alineados con los Core Carbon Principles del ICVCM, 2024). (ii) Soberano y público, donde fondos climáticos multilaterales como Global Environment Facility (GEF), Green Climate Fund (GCF), Banco Mundial, y esquemas bilaterales bajo el Artículo 6.2 del Acuerdo de París, podrían canalizar recursos hacia proyectos con NDC, y (iii) filantrópico o de impacto, integrado por fundaciones, inversionistas de impacto y mecanismos de *blended*

*finance* (UNEP FI, 2021), que priorizan co-beneficios socioambientales, tales como biodiversidad o adaptación comunitaria.

En paralelo, comienza a consolidarse una narrativa económica en torno a la conservación como inversión estratégica. Como señala una columna reciente en *El Mostrador* (2025), “invertir en biodiversidad es invertir en agua, en alimentos, en resiliencia climática y en la estabilidad económica del país”, lo que refleja un cambio de enfoque desde la mitigación de impactos hacia la valoración activa de la naturaleza como activo financiero y de resiliencia. Esta visión complementa la demanda corporativa y filantrópica descrita, reforzando la noción de que los proyectos de carbono azul pueden insertarse en un marco más amplio de inversión en capital natural y NbS.

Si bien la capacidad nacional para el MRV de carbono azul aún es limitada, la demanda internacional crece impulsada por criterios de integridad y co-beneficios. Por lo cual los proyectos chilenos deben priorizar la construcción de credibilidad técnica y la alineación con estándares reconocidos (ICVCM, Verra) más que la generación masiva de créditos en el corto plazo. Estas condiciones, junto con las barreras analizadas en la sección anterior, serán integradas en la matriz 2.4 tipología–instrumento–condiciones habilitantes, que constituye la base de la ruta estratégica propuesta en los resultados.

Para la matriz 2.4.1 (capacidades y mercado):

**Capacidades técnicas.** Disponibilidad de laboratorios con QA/QC, equipos de campo, series de línea base; verificadores disponibles (locales o regionales) y experiencia en metodologías vigentes.

**Costos y tiempos de verificación.** Orden de magnitud (ciclos de verificación, logística de muestreo, laboratorio) y su impacto en OPEX; factibilidad operativa por macrozona.

**Estándares/actores activos.** Metodologías aplicables (como VM0033, ACR WR-MF u otras), criterios de integridad (ICVCM) y actores relevantes (públicos, comunitarios, corporativos).

**Demanda y señales de precio.** Compradores potenciales (corporativos, soberanos, filantrópicos), preferencia por calidad e impactos y co-beneficios; marcos de señal (impuestos/ETS) como contexto, no como driver de precio base del proyecto.

**Financiamiento factible.** Instrumento(s) con mayor encaje por tipología/madurez (PSE/trusts, blended, SLL/SLB, garantías, deuda concesional, fondos de innovación, pay-for-performance).

Esta síntesis alimenta las columnas instrumento(s) idóneo(s) y condiciones habilitantes de la matriz 2.4.1, y respalda las proposiciones del 2.4.2. Además, la tabla disponible en Anexo 7.6, resume los principales flujos financieros y las condiciones asociadas a cada tipo de instrumento.

### 2.3.5 Casos y aprendizajes

Los casos seleccionados se presentan con propósito ilustrativo y analítico, con el fin de identificar elementos transferibles para el contexto chileno (marcos institucionales, gobernanza, secuencia metodológica y opciones de financiamiento). Se analizan tres ejemplos internacionales y un antecedente nacional, enfocados en gobernanza participativa, MRV realista, buffers y trazabilidad.

Mikoko Pamoja (Kenia)<sup>4</sup>: El proyecto se desarrolla en Gazi Bay, Kenia y es reconocido como el primer proyecto comunitario de carbono azul de manglares certificado bajo el estándar Plan Vivo. Iniciado en 2012, abarca 117 hectáreas de bosque de manglares de propiedad estatal, en una región donde el 80% de la población local obtiene sus ingresos de actividades relacionadas con recursos marinos. Este proyecto combina restauración y conservación de manglares con una gobernanza local sólida, gestionada por un comité comunitario que administra los ingresos de la venta de créditos de carbono. Opera bajo un acuerdo de PSE y debe someterse a re-acreditación cada cinco años. Anualmente se asignan 2.215 créditos

---

<sup>4</sup> Link del proyecto: <https://mikokopamoja.org/>

para la venta, que han generado un total de 12.500 dólares al año; el precio de los créditos fluctuó entre 6,50 y 10,00 dólares en 2013–2014. Científicamente, el proyecto ha investigado el potencial de almacenamiento de carbono durante cinco años y ha capturado aproximadamente 3.000 tCO<sub>2</sub> al año, pese a que la evaluación de sus créditos excluye el carbono del suelo. Su principal enseñanza es que la coherencia entre control técnico y apropiación social garantiza permanencia y credibilidad (Zaid et al., 2025).

Abrolhos Blue Carbon (Brasil)<sup>5</sup>: Es la zona de mayor biodiversidad del Atlántico Sur. Arrecifes someros en una plataforma de 20 a 70 m dentro de un área de 95.000 km<sup>2</sup>, con 1.300 especies registradas (45 en Lista Roja IUCN), una costa con aproximadamente 230.000 habitantes (20.000 pescadores y 80.000 empleos en turismo) y la llegada anual de más de 7.000 ballenas jorobadas entre junio y septiembre. En más de 13 años, *Conservation International* articuló un modelo basado en una red de cuatro AMP federales (PNM Abrolhos año 1983, 88.250 ha; RESEX Corumbau año 2000, 89.500 ha; RESEX Canavieiras año 2006, 100.000 ha; RESEX Cassurubá año 2009, 100.000 ha). Se sugiere que el área total de arrecifes podría multiplicarse entre 2 y 7 veces, con resultados que apuntan a seguridad alimentaria para más de 15.000 personas. En gobernanza, la Coalición SOS Abrolhos aseguró hitos clave (decreto de RESEX Cassurubá en el 2007 y bloqueo en el año 2003 de permisos de petróleo y gas sobre ~75% del Banco de Abrolhos), mientras que el Curso de Monitoreo de AMP fortaleció capacidades (55 técnicos de más de 10 estados). Aprendizajes transferibles: las redes de AMP como columna vertebral de manejo/monitoreo, la ciencia aplicada para dimensionar valor ecológico y orientar prioridades, las coaliciones cívicas para contener riesgos extractivos y habilitar figuras de uso sustentable (RESEX), y el derrame socioeconómico (pesca, turismo) que alinea permanencia con legitimidad local. Este modelo demuestra cómo la investigación aplicada puede evolucionar hacia esquemas de

---

<sup>5</sup> Link de la iniciativa: [https://satoyamainitiative.org/case\\_studies/abrolhos-seascape-a-field-demonstration-model](https://satoyamainitiative.org/case_studies/abrolhos-seascape-a-field-demonstration-model)

financiamiento climático con integridad ambiental y social (International Partnership for the Satoyama Initiative, 2011).

Pilotos con praderas de *Zostera*<sup>6</sup>: En Europa se están escalando pilotos de restauración de praderas marinas (incluida *Zostera*) que combinan reducción de presiones locales, una rigurosa selección de sitios y técnicas de implantación como siembra de semillas y trasplante, con monitoreo estacional y participación comunitaria. La UN Decade on Ecosystem Restoration documenta un consorcio europeo que opera en Países Bajos, Francia y otros países, orientado a desarrollar métodos y estándares logísticos y científicos a escala, con metas de superficie multianuales y creación de empleo local para actividades de plantación y seguimiento, tras años de trabajo previo para remover presiones en los sistemas receptores (Lilley, 2024). En el Reino Unido, el NatureScot Research Report 1286 entrega un manual para restauración de praderas marinas, desde su evaluación previa, permisos y bioseguridad, hasta la recolección de propágulos, trasplantes, diseño de monitoreo y gobernanza, que sirve como referencia metodológica para pilotos tempranos en contextos templados (Kent et al., 2021).

Experiencia nacional (Chile)<sup>7</sup>: La Iniciativa Carbono Azul, promovida por Anglo American e impulsada por Fundación Chile, se presenta como el primer proyecto demostrativo de carbono azul en Chile, con foco en identificar, evaluar e implementar acciones de secuestro y almacenamiento de carbono mediante NbS en ecosistemas marinos. El piloto cuenta con la colaboración de AquaPacífico, la Universidad Andrés Bello (UNAB), e involucra a la Universidad Santo Tomás (UST). El núcleo técnico es un cultivo de huiro (*Macrocystis pyrifera*) para definir una metodología que demuestre la captura de carbono, evaluando el almacenamiento por dos vías: (i) bioproducto a partir de la biomasa cosechada, liderado por

---

<sup>6</sup> Link de la iniciativa: <https://www.decadeonrestoration.org/pioneering-large-scale-seagrass-restoration-across-europe>

Link del manual: <https://www.nature.scot/doc/naturescot-research-report-1286-seagrass-restoration-scotland-handbook-and-guidance>

<sup>7</sup> Link de la iniciativa: <https://fch.cl/iniciativa/carbono-azul/>

la Dra. Loretto Contreras (UNAB), orientado a almacenar carbono en tierra; y (ii) carbono orgánico que sedimenta bajo la zona de cultivo, evaluado por la Dra. (c) Ana María Mora (UST), para cuantificar el aporte al fondo marino. En resumen, el proyecto piloto de Anglo American es un programa de cultivo de macroalgas, desplegado en tres regiones del país: Atacama, Valparaíso y Los Lagos, co-ejecutado con actores públicos, privados y académicos, con seis objetivos operativos que combinan desarrollo metodológico, demostración técnica, fortalecimiento de capacidades locales (contempla capacitación a comunidades de pescadores y algueros) y establecimiento de un modelo de producción sostenible. Además, difusión de objetivos y resultados, y una adaptación metodológica para la cuantificación de CO<sub>2</sub>. Con inversiones de 288.000 dólares en el 2024 y un bloque adicional de 750.000 cofinanciado por Anglo American, Colbún y CORFO; su estado actual es de piloto exploratorio con evaluación de factibilidad de expansión (ASG, 2024).

Los casos presentados convergen en cuatro principios fundamentales: (i) gobernanza participativa, que asegura legitimidad y permanencia; (ii) MRV realista y gradual, que prioriza consistencia y trazabilidad por sobre sofisticación; (iii) buffers y gestión del riesgo, que fortalecen la integridad ambiental; y (iv) reparto equitativo de beneficios, condición central para la sostenibilidad social de los proyectos. Estos aprendizajes orientan la construcción de la matriz 2.4, donde se priorizan, por macrozona, las combinaciones más factibles entre tipología de ecosistema e instrumento financiero como condición habilitante.

Con base en las síntesis señaladas a lo largo de la sección 2.3, esta sección construye la matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes y formula proposiciones operativas para la metodología. El análisis temático de la literatura permitió agrupar los hallazgos en cuatro ejes: integridad, territorialidad, capacidades y mercado, y mecanismos financieros, que estructuran la matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes (Tabla 5), las proposiciones operativas y el cuadro de operacionalización (Tabla 7).

## 2.4 Síntesis y proposiciones

### 2.4.1 Matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes

El objetivo de esta matriz es evaluar condiciones habilitantes ex-ante y tender el puente para que los proyectos puedan existir. En consecuencia, la selección de instrumentos se define según la madurez metodológica y la exigencia MRV (véanse secciones 2.2 y 2.3). El marco MEOW delimita las macrozonas; la presencia y ubicación de los ecosistemas se considera a partir de Rehbein et al. (2020), complementada con capas nacionales y fuentes sectoriales. Importante destacar que esta versión es conceptual (sin semáforo). Posteriormente, el semáforo no evaluará el desempeño de proyectos, sino la disponibilidad y madurez de las condiciones habilitantes a nivel macrozona × ecosistema × tipología.

**Tabla 5.**

*Matriz de tipologías, instrumentos financieros y condiciones habilitantes*

Macrozona (MEOW)	Ecosistema & Madurez	Tipología (cons./rest./ creación-manejo)	Objetivo climático (evitación/remoción)	Exigencia MRV (tiers, proxies, permanencia/buffer)	Riesgos críticos (reversión, fugas, atribución, eventos)	Instrumento principal	Instrumentos complementarios	Condiciones habilitantes (regulatorias, técnicas-datos, sociales, mercado)	Promotor probable	Plazo (C/M/L)
Norte-Centro (Pacífico Sudoriental Templado-Cálido)-Sur (Magallánica)	Marismas (Norte-Centro: significativa; Sur: puntual/ estuarios) - Clásico (IPCC/ estándares)	Conservación	Evitación (pérdida de stock; CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> /N <sub>2</sub> O)	Media: línea base; suelo 1 m + densidad aparente; verificación; buffer	Reversión; fugas; SLR/tormentas; presión antrópica. En el sur: riesgos logísticos y de acceso	PSE (contratos renovables) + trusts/endowments territoriales	Bonos azules (si cartera/reglas); tasas/cargos ambientales; SLL/SLB (si corporativo)	Permisos/tenencia; compatibilidad AMP-NDC; lab QA/QC; verificadores; benefit-sharing; compatibilidad con usos portuarios y urbanos; coordinación con instrumentos de planificación	Público / Comunitario/ Mixto	C-M

Macrozona (MEOW)	Ecosistema & Madurez	Tipología (cons./rest./ creación-manejo)	Objetivo climático (evitación/remoción)	Exigencia MRV (tiers, proxies, permanencia/ buffer)	Riesgos críticos (reversión, fugas, atribución, eventos)	Instrumento principal	Instrumentos complementarios	Condiciones habilitantes (regulatorias, técnicas-datos, sociales, mercado)	Promotor probable	Plazo (C/M/L)
								costera.		
Norte-Centro (Pacífico Sudoriental Templado-Cálido)-Sur (Magallánica, según presencia)	Marismas – Clásico (IPCC/ estándares)	Restauración (hidrología/ revegetación)	Remoción (acreción de suelo; aumento de stock)	Media-alta: diseño muestral; suelo 1 m + densidad aparente; verificación; buffer	CAPEX alto; arranque lento; eventos extremos	Blended finance + deuda concesional/garantías (CAPEX) + pay-for-performance (cuando aplique)	SLL/SLB (si corporativo); fondos públicos de innovación	Permisos borde costero; logística; lab QA/QC; verificadores; compatibilidad con usos portuarios y urbanos; coordinación con instrumentos de planificación costera.	Mixto (público/comunitario/ privado)	M-L
Norte-Centro (Pacífico Sudoriental Templado-Cálido)- Sur (Magallánica, en bahías reparadas)	Praderas marinas – Clásico (IPCC/estándares)	Restauración	Remoción	Medio-alto: suelo 1 m, densidad aparente; verificación periódica	Arranque lento; turbidez; eventos extremos: logística y accesibilidad en bahías aisladas (Sur); condiciones de oleaje y clima extremo.	Blended finance + pay-for-performance (créditos verificados/PSE)	Deuda concesional/garantías; SLL/SLB (si corporativo); fondos públicos de innovación	Permisos/uso de fondo marino; lab QA/QC; verificadores; línea base; gobernanza y reparto de beneficios; preferencia por calidad (ICVCM); compatibilidad con usos portuarios y urbanos; coordinación con instrumentos de planificación costera.	Mixto (público/comunitario/ privado)	M
Norte (caso prioritario; Pacífico Sudoriental Templado-Cálido: Humboldtiana)	Macroalgas/ kelp – Emergente (en estudio)	Manejo/ Protección (AMERB, cuotas/vedas, fiscalización)	Evitación/ co-beneficios (recuperación de biomasa; presión extractiva ↓)	Alta: indicadores operativos; atribución/ exportes DOC/POC (en desarrollo)	Incertidumbre de atribución; sobreexplotación; logística	PSE/ co-beneficios o trusts/endowments para OPEX de manejo	Blended/ innovación para fiscalización; SLL/SLB con KPIs operativos (no	Reglas de acceso; co-manejo; capacidad de fiscalización; series de biomasa/ productividad. El modelo se puede	Comunitario / Mixto	C-M

Macrozona (MEOW)	Ecosistema & Madurez	Tipología (cons./rest./ creación-manejo)	Objetivo climático (evitación/remoción)	Exigencia MRV (tiers, proxies, permanencia/buffer)	Riesgos críticos (reversión, fugas, atribución, eventos)	Instrumento principal	Instrumentos complementarios	Condiciones habilitantes (regulatorias, técnicas-datos, sociales, mercado)	Promotor probable	Plazo (C/M/L)
							tCO <sub>2</sub> e)	escalar a Centro/Sur/Insular cuando haya arreglos de manejo/AMERB y datos.		
Norte-Centro (Pacífico Sudoriental Templado-Cálido)-Sur (Magallánica)-Insular/Patagónica (Juan Fernández y Desventuradas, según presencia)	Macroalgas/kelp - Emergente (en estudio)	Creación/ Restauración (pilotos)	Remoción potencial (condicionada a MRV de exportes/ entierro)	Muy alta: diseño experimental; trazabilidad de flujos (atribución/ exportes DOC-POC); QA/QC	Costo/ efectividad de restauración; incertidumbre metodológica	Fondos públicos de innovación + filantropía estructurante + blended finance	Garantías; Filantropía estructurante; SLL/SLB con metas escalonadas; trusts para OPEX	Permisos; infraestructura piloto; acuerdos con verificadores; protocolos de datos (MRV pilotos); demanda por co-beneficios	Privado/ Comunitario (co-manejo)	M-L
Sur (Magallánica)	Fjordos - Emergente (en estudio)	Conservación / Manejo	Evitación / almacenamiento	Alto: sedimentación/ mezcla; monitoreo de fugas	Eventos extremos; interacción acuicultura	PSE/ co-beneficios + trusts/endowments	Bonos azules (si hay cartera/reglas); canje deuda-naturaleza	Compatibilidad AMP-NDC y concesiones de acuicultura; plan de riesgos y buffer; infraestructura científica en Patagonia (laboratorios/ series de sedimentos); actores locales; verificadores;	Público / Mixto	M-L

Nota: En esta matriz, el plazo se refiere al horizonte para implementar las condiciones habilitantes y estructurar financieramente los proyectos, no a la vida útil del ecosistema ni a la permanencia del carbono. C (corto plazo): hasta 3 años; M (mediano plazo): entre 3 y 5 años; L (largo plazo): más de 5 años. Estos rangos son referenciales y se alinean con los horizontes de programación de instrumentos de financiamiento climático y con los ciclos de actualización de las NDC y hojas de ruta sectoriales considerados en la tesis.

Fuente: Elaboración propia

## 2.4.2 Proposiciones/Hipótesis operativas

Proposiciones contrastables que orientan la metodología y la selección de casos.

**Tabla 6.**

*Proposiciones*

ID	Enunciado	Variables clave	Cómo testear / Evidencia	Fuentes / Indicadores (según cap. 2)
P1	En macrozonas del Norte y Centro con marismas y praderas marinas sujetas a presión antrópica y con MRV accesible, la conservación se alinea mejor con PSE/trusts que con deuda comercial.	Riesgo de reversión; accesibilidad MRV; instrumento; continuidad OPEX	Revisión de casos/contratos: PSE/trusts; estabilidad de flujos; comparación con costos de deuda	2.2.1–2.2.2; 2.3.3; 2.3.4
P2	En restauración de macrozonas donde marismas y praderas marinas tienen presencia significativa o concentrada (principalmente Norte y Centro, y bahías específicas del Sur) con CAPEX alto y co-beneficios locales, el <i>blended finance</i> aumenta la probabilidad de bancarización.	CAPEX; co-beneficios; mezcla de recursos; verificación	Evidencia de cierres financieros con <i>blended</i> vs sin; tiempos/costos de verificación	2.2.2; 2.3.4
P3	En macroalgas/kelp (manejo/creación), la falta de metodologías consolidadas y de trazabilidad de exportes de C demanda pilotos con financiamiento concesional.	Estado metodológico; trazabilidad DOC/POC; innovación/concesionalidad	Existencia de pilotos MRV; asignación de fondos de innovación; resultados intermedios	2.3.2; 2.3.4; Tabla 4 (según distribución de macroalgas/kelp por macrozona)

ID	Enunciado	Variables clave	Cómo testear / Evidencia	Fuentes / Indicadores (según cap. 2)
P4	En fiordos, la incertidumbre de atribución y mezcla favorece PSE/co-beneficios y trusts sobre créditos inmediatos.	Incertidumbre; mezcla; co-beneficios; instrumento	Casos con PSE/trusts vs intentos de crédito; métricas de monitoreo sedimentario	2.3.2; 2.3.3; 2.3.4; Tabla 4 (según distribución de macroalgas/kel p por macrozona)
P5	La existencia de arreglos de benefit-sharing y comités ESG reduce riesgo social/reputacional y mejora el perfil riesgo-retorno percibido.	Benefit-sharing; gobernanza; riesgos sociales	Revisión de acuerdos y mecanismos de queja; entrevistas a financiadores	2.2.1; 2.3.5
P6	La disponibilidad de laboratorios con QA/QC y de verificadores locales reduce OPEX y acorta tiempos de certificación.	QA/QC; verificadores; OPEX; tiempos de auditoría	Comparar proyectos con/sin QA/QC local; cronogramas de certificación	2.3.3-2.3.4
P7	Fuentes públicas predecibles (tasas/cargos ambientales) anclan OPEX de conservación y mejoran la sostenibilidad financiera.	Tasas/cargos; asignación presupuestaria; continuidad	Evidencia de contratos PSE sostenidos; reglas de afectación de ingresos	2.2.2; 2.3.4
P8	La alineación entre tipología de proyecto y macrozona/ecosistema definida por el marco MEOW-Chile (Tabla 4) mejora la factibilidad de diseño de instrumentos financieros y reduce el riesgo de descalce entre riesgo biofísico y estructura	Tipología-macrozona-ecosistema; descalce riesgo-instrumento	Comparación de casos donde la tipología se ajusta o no al contexto ecosistémico/territorial	2.2.2; 2.3.1-2.3.2; 2.3.4; Tabla 4 (encaje tipología-macrozona-ecosistema)

ID	Enunciado	Variables clave	Cómo testear / Evidencia	Fuentes / Indicadores (según cap. 2)
	financiera			

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3 Cuadro de operacionalización

El siguiente cuadro contempla variables, indicadores, fuentes y cómo medir, para iterar.

**Tabla 7.**

*Variables y sus características*

Variable	Definición operativa	Indicador(es)	Fuente(s) del Cap. 2	Cómo medir / Evidencia
Madurez metodológica (ecosistema)	Estado del método por ecosistema	Clásico (IPCC/estándares) / En estudio / Incipiente	2.1–2.3 (IPCC; VM0033; ACR WR-MF)	Clasificación documental por ecosistema/ macrozonas según su distribución por macrozona (Tabla 4)
Exigencia MRV	Nivel de requerimientos de MRV	Tier; inclusión suelo 1 m y densidad aparente; IC 95%; frecuencia verificación; <i>buffer</i>	2.1.2–2.1.3; 2.2.1	Checklist de cumplimiento por tipología
Riesgos de permanencia y fugas	Probabilidad de pérdida de stock o desplazamiento de actividad	Drivers SLR/tormentas/ hundimiento del terreno (subsistencia); tamaño de <i>buffer</i> ; monitoreo de fugas	2.2.1; 2.3.3	Escala ordinal (alto/medio/bajo) + plan de manejo
Condiciones regulatorias y de tenencia	Marco habilitante en costa/fondo marino y compatibilidad con NDC/AMP	Permisos y tenencia definidos; riesgo de doble contabilidad	2.3.3	Semáforo de cumplimiento con respaldo normativo que se aplica por macrozona, considerando diferencias en

Variable	Definición operativa	Indicador(es)	Fuente(s) del Cap. 2	Cómo medir / Evidencia
				presencia de AMP, AMERB, concesiones acuícolas, etc. (que son territoriales y coherentes con lo que insinúa la Tabla 4)
Capacidades técnicas y de datos	Infraestructura y trazabilidad para MRV	Laboratorios QA/QC; series históricas; verificadores; metadatos	2.3.3–2.3.4	Binario/ordinal con evidencia documental
Instrumento financiero principal	Instrumento con mayor encaje a riesgo/MRV por tipología	Adecuado / Parcial / No adecuado; costos de transacción; plazo	2.2.2	Matriz de correspondencia (juicio experto + fuentes)
Gobernanza y reparto de beneficios	Arreglos sociales y fiduciarios	Acuerdos de <i>benefit-sharing</i> ; comités ESG; mecanismos de queja	2.2.1; 2.3.5	Checklist + documentación de acuerdos
Viabilidad de mercado	Condiciones de demanda y estándares activos	Estándares aplicables; preferencia por calidad (ICVCM); tiempos/costos de verificación	2.3.4	Escala ordinal con justificación
Territorialidad (macrozona/provincia MEOW)	Ubicación de los ecosistemas y proyectos de carbono azul en las macrozonas de Chile (Norte, Centro, Sur, Insular/Patagonia) y sus provincias MEOW asociadas, según la distribución sintetizada en la Tabla 4	Macrozona (Norte/Centro/Sur/Insular-Patagonia); Provincia MEOW (Pacífico Sudoriental Templado-Cálido, Magallánica, Juan Fernández y Desventuradas); Tipo de ecosistema dominante (marismas, praderas marinas, macroalgas/kelp, fiordos/canales)	2.3.1; Tabla 4	Cruce de capas MEOW + clasificación de ecosistemas marinos chilenos + presencia de ecosistemas clásicos/emergentes por macrozona; mapa y tabla de presencia/ausencia por macrozona-ecosistema (Anexo 7.4 y 7.5)

Fuente: Elaboración propia

Con todo lo anterior, se clasifican las principales tipologías de proyectos de carbono azul identificadas en la literatura internacional, distinguiendo sus características técnicas, ecosistémicas y metodológicas, lo que da cumplimiento al primer objetivo específico

### 3 MECANISMOS DE FINANCIAMIENTO: ASPECTOS CLAVE

Este capítulo fija criterios operativos y umbrales de elegibilidad para la selección de instrumentos financieros que se aplicarán en la Ruta Estratégica, en coherencia con la matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes (Tabla 5), las proposiciones (Tabla 6) y el cuadro de operacionalización de variables (Tabla 7). Se ordena en tres secciones: (i) taxonomía mínima de instrumentos (definiciones operativas), (ii) criterios de encaje (checklist de decisión anclado en la integridad ambiental y financiera definida en 2.2), y (iii) umbrales prácticos que gatillan la elección por tipología/ecosistema, articuladas con la territorialidad por macrozona y ecosistema definida en el Capítulo 2 (Tabla 4), de modo que la selección de instrumentos refleje las diferencias en riesgos biofísicos, madurez y gobernanza entre Norte, Centro, Sur e Insular/Patagonia.

#### 3.1 Taxonomía mínima de instrumentos

**Mercado voluntario y *pay-for-performance*.** Instrumentos basados en resultados verificables (reducciones/remociones) medidos en tCO<sub>2</sub>e conforme a metodologías y estándares (como VM0033; ACR WR-MF) y verificados por terceros. El pago se condiciona a hitos MRV y a salvaguardas de permanencia, fuga y adicionalidad (IPCC, 2013; Verra, 2023; ICVCM, 2024). En la matriz de la Tabla 5, este tipo de instrumentos aparece como principal para proyectos de conservación en marismas y praderas marinas, en macrozonas con MRV clásico y riesgo de reversión alto (P1), y como complementario en combinaciones con SLL/SLB a nivel corporativo.

**Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE).** Contratos condicionales de provisión de servicios, por ejemplo evitar degradación y sostener manejo, con trazabilidad de pagos, reglas de elegibilidad y arreglos de gobernanza local (Greiber, 2009). Útiles para OPEX recurrente de conservación, especialmente donde el riesgo de reversión/fugas es alto y la contabilidad en tCO<sub>2</sub>e es compleja o costosa. En la Tabla 5 se utiliza como principal o de base para tipologías donde el MRV en tCO<sub>2</sub>e es costoso o parcial (por ejemplo, manejo de

macroalgas o contextos con riesgo físico elevado), y se combina con etiquetas de deuda o *blended finance*.

**Bonos azules/verdes.** Deuda etiquetada con usos elegibles y gobernanza fiduciaria (marco, elegibilidad, seguimiento y reporte) alineada a principios del mercado (International Capital Market Association, 2023). Apropriados cuando existen carteras con gasto multianual y reglas de trazabilidad del uso de fondos.

**Préstamos/bonos vinculados a sostenibilidad (SLL/SLB).** Instrumentos cuyo costo o cupón varía en función de KPIs y SLTs. En carbono azul, los KPIs deben ser operativos/verificables, por ejemplo: hectáreas bajo manejo, cumplimiento de vedas, QA/QC) cuando la contabilidad tCO<sub>2</sub>e no está disponible o está en estudio (International Capital Market Association, 2023).

Para bonos y SLL/SLB, en la matriz (Tabla 5) se conceptualizan como capa corporativa o soberana que se superpone a tipologías de sitio/paisaje, capturando el riesgo/retorno agregado de carteras por macrozona.

**Blended finance, garantías y deuda concesional.** Mezcla de recursos (donación/primeras pérdidas, concesionalidad, garantías) para desbloquear CAPEX de restauración y cubrir riesgos tecnológicos/temporales (UNEP FI, 2021; International Finance Corporation, 2025). Se asocian a esquemas por desempeño cuando el MRV lo permite. En la Tabla 5 se los asigna como instrumentos habilitantes de CAPEX para restauración y pilotos en ecosistemas emergentes (P3–P4), donde el riesgo tecnológico y la incertidumbre de MRV son elevados.

**Canjes de deuda por naturaleza y estructuras (para)soberanas.** Mecanismos que liberan espacio fiscal y crean flujos previsibles para OPEX de conservación/monitoreo si concurren condiciones habilitantes: masa crítica de deuda, mejora crediticia/garantías a costo razonable, y gobernanza fiduciaria (*trust fund* con reglas de desembolso) (World Bank, 2024; FinDev Lab, 2024). Complementan, no sustituyen, la integridad MRV. En la matriz se asocian

a contextos de escala macrozona/país y prioridades soberanas (PSE soberanos, trusts), más que a tipologías individuales de sitio.

Esta taxonomía se usa como un conjunto de bloques que se combinan en la Tabla 5 (como instrumentos principales o complementarios según tipología y macrozona) y se acota mediante las proposiciones de la Tabla 6 y las variables del cuadro de operacionalización de la Tabla 7.

### **3.2 Criterios de encaje**

Se presenta un checklist de decisión que permite anclar la selección de instrumentos a la integridad ambiental y financiera (puntos 2.2.1 y 2.2.2), usando las variables e indicadores del punto 2.4.3.

#### **Territorialidad (macrozona/provincia MEOW):**

- Macrozona (Norte, Centro, Sur, Insular/Patagonia), provincia MEOW asociada y tipo de ecosistema dominante (marismas, praderas marinas, macroalgas/kelp, fiordos/canales) → Este criterio se basa en la distribución sintetizada en la Tabla 4 y en la asignación tipología–ecosistema–macrozona de la Tabla 5. Determina el perfil de riesgo físico, presión antrópica y factibilidad logística de cada proyecto.
- Este criterio implementa la proposición P8 sobre el encaje tipología–macrozona–ecosistema, evitando descalces entre riesgo biofísico y estructura financiera.
- Se operacionaliza en la Tabla 7 mediante la variable de territorialidad (macrozona/provincia MEOW y ecosistema dominante).

#### **Madurez metodológica (Clásico / En estudio / Incipiente):**

- Clásico: elegible para tCO<sub>2</sub>e con estándares activos → habilita *pay-for-performance* y créditos.
- En estudio: pilotos/series con MRV parcial → priorizar PSE, SLL/SLB con KPIs operativos, e innovación/*blended*.

- Incipiente: no aplicable al corte de esta tesis para Chile (marcar N/A en esos casos).
- Corresponde a la variable de madurez metodológica de la Tabla 7, que clasifica cada ecosistema y tipología según la evidencia disponible.

#### **Exigencia MRV y costos de transacción:**

- Inclusión suelo 1 m + densidad aparente, IC 95%, frecuencia de verificación, *buffer* por riesgo (IPCC, 2013; Verra, 2023).
- Donde MRV sea costoso o incipiente, preferir PSE/SLL y *blended* hasta madurar.
- Se recoge en la Tabla 7 a través de la variable “exigencia de MRV y costos de transacción”, con indicadores de cobertura de piscinas, frecuencia y requerimientos de QA/QC.

#### **Riesgo de permanencia y fugas:**

- SLR/tormentas/hundimiento del terreno (subsistencia) y riesgo de fugas condicionan tamaño de *buffer*, monitoreo ampliado y el tipo de instrumento (más concesionalidad y OPEX estable cuando el riesgo físico es alto).
- Esta dimensión se operacionaliza en la Tabla 7 como riesgo de permanencia y fugas, mediante indicadores de exposición física y requerimientos de *buffer*/monitoreo.

#### **Condiciones regulatorias y de tenencia:**

- Tenencia/fondo marino, permisos, compatibilidad con NDC/AMP, y resguardo de doble contabilidad → precondiciones para elegibilidad.
- Se refleja en la Tabla 7 en la variable de condiciones regulatorias y de tenencia, que resume las habilitantes legales mínimas para cada tipología y macrozona.

#### **Capacidades técnicas y de datos:**

- Laboratorios QA/QC, verificadores, series históricas y metadatos → reducen OPEX y tiempos de certificación.

- Corresponde a la variable de capacidades técnicas y de datos de la Tabla 7, que considera disponibilidad de infraestructura, verificadores y datos históricos.

### **Gobernanza y reparto de beneficios:**

- *Benefit-sharing*, comités ESG y mecanismos de queja → reducen riesgo social/reputacional y mejoran el perfil riesgo-retorno percibido.
- Se operacionaliza en la Tabla 7 como gobernanza y reparto de beneficios, mediante indicadores de arreglos institucionales y mecanismos participativos.

### **Viabilidad de mercado y estándares activos:**

- Preferencia por calidad (ICVCM) y tiempos/costos de verificación realistas.
- Esta dimensión se recoge en la Tabla 7 en la variable de viabilidad de mercado y estándares activos, considerando la existencia de demandas, estándares y rutas de certificación vigentes.

## **3.3 Umbrales prácticos para la matriz aplicada**

**Umbral 1.** Conservación en ecosistemas clásicos (marismas) con MRV accesible y riesgo de reversión/fugas alto. Escala territorial/cartera, esto es muchos sitios dispersos dentro de una o varias macrozonas, o una cartera de áreas bajo manejo/ protección bajo un mismo programa y reglas comunes. Rol local en vigilancia y monitoreo. Priorizar PSE + trust/endowment para OPEX y permanencia; bonos azules solo con cartera/reglas claras de uso; SLL/SLB si el promotor es corporativo con KPIs operativos (secciones 2.2.2; 2.4.1; 2.4.3). Este umbral se aplica principalmente a las tipologías de conservación en marismas de macrozonas Norte-Centro (Tabla 5), asociadas a la proposición P1 de la Tabla 6, donde el MRV es clásico y el riesgo de reversión es elevado.

**Umbral 2.** Escala sitio/paisaje, esto es que se interviene un lugar concreto (sitio) o un conjunto de sitios conectados por procesos ecológico-hidrológicos (paisaje). El diseño es a la medida del sitio. Restauración en ecosistemas clásicos (marismas/praderas marinas) con

CAPEX alto y co-beneficios locales (roles locales: viveros, siembra, control de presiones, monitoreo). Blended finance + concesionalidad/garantías para CAPEX; pay-for-performance cuando la verificación sea viable; SLL/SLB como complemento corporativo (secciones 2.2.2; 2.3.4; 2.4.1). Corresponde a proyectos de restauración de marismas y praderas marinas en macrozonas con presencia significativa o concentrada (Tabla 4), que en la Tabla 5 aparecen como tipologías con CAPEX alto y horizonte M-L, y se vinculan con P2 en la Tabla 6.

**Umbral 3.** Escala piloto. Creación/manejo en ecosistemas emergentes (macroalgas/kelp) con alta incertidumbre de atribución. Roles locales en operación y datos. Fondos públicos de innovación y filantropía estructurante para pilotos MRV (especialistas en diseño experimental/MRV trazabilidad DOC/POC); SLL con metas escalonadas (operativas, no tCO<sub>2</sub>e al inicio); entrada a mercado condicionada a avances de MRV (exportes/entierro) (secciones 2.2.2; 2.3.2; 2.4.1). Se aplica a la creación/manejo en ecosistemas emergentes (macroalgas/kelp, fiordos/canales) con MRV en estudio (Tablas 4 y 5), asociados a las proposiciones P3-P4 y a las variables de madurez metodológica incipiente/en estudio de la Tabla 7.

**Umbral 4.** Escala sitio/macrozona. Contextos con riesgos físicos elevados como SLR/tormentas/hundimiento del terreno (subsistencia). Ajustar *buffer*, reforzar monitoreo de fugas y priorizar instrumentos con flujo predecible (PSE, *trust*) sobre deuda comercial (secciones 2.2.1; 2.4.3). Opera en macrozonas y sitios con riesgo físico elevado (SLR, tormentas, subsistencia), donde la matriz de la Tabla 5 prioriza PSE y estructuras de *trust* sobre deuda comercial y las variables de riesgo físico y permanencia de la Tabla 7 son críticas.

**Umbral 5.** Gobernanza robusta y trazabilidad financiera. Para instrumentos de cartera (como los bonos azules) o soberanos (como los canjes de deuda), exigir *trust fund* con reglas de desembolso, rendir cuentas y trazabilidad del uso de fondos (International Capital Market Association, 2023; World Bank, 2024; FinDev Lab, 2024). Este umbral es condición necesaria para instrumentos soberanos o corporativos de alto perfil (bonos azules, canjes de deuda),

y se alinea con las variables de gobernanza, *benefit-sharing* y estándares de mercado de la Tabla 7, así como con la proposición P8 de encaje tipología–macrozona–ecosistema.

Con estas definiciones, criterios y umbrales, la sección 3 opera como un filtro ex-ante que traduce la combinación tipología–territorio–condiciones habilitantes (Tablas 4 y 5), las proposiciones (Tabla 6) y las variables operacionales (Tabla 7) en decisiones de selección y combinación de instrumentos por macrozona y ecosistema en los resultados.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Ruta Estratégica: matriz ex-ante tipología–instrumento–condiciones aplicada a Chile

Este capítulo presenta la aplicación de la ruta estratégica propuesta en la Tabla 2 a las macrozonas marino-costeras de Chile. La Tabla 2 constituye el diseño de dicha ruta; su aplicación al caso chileno se operacionaliza en una matriz ex-ante tipología–instrumento–condiciones (Tablas 8 y 15), que combina la distribución de ecosistemas por macrozona y provincia MEOW (Tabla 4), la matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes (Tabla 5) y las variables operativas del cuadro de operacionalización (Tabla 7), vinculando los ecosistemas y territorios identificados en el Capítulo 2 con las tipologías de proyectos clásicas y emergentes, en línea con el segundo objetivo específico.



De la matriz, las filas se definen por combinaciones de macrozona (Norte, Centro, Sur, Insular/Patagonia), ecosistema dominante (marismas, praderas marinas, macroalgas/kelp, fiordos/canales) y tipología de proyecto (conservación, restauración, creación/manejo). Y las columnas recogen las variables clave sintetizadas en el Capítulo 2 y operacionalizadas en la Tabla 7: madurez metodológica, exigencia de MRV, riesgos de permanencia y fugas, condiciones regulatorias y de tenencia, capacidades técnicas y de datos, instrumento financiero principal, gobernanza y reparto de beneficios, viabilidad de mercado y Territorialidad (macrozona/provincia MEOW).




Cada celda se evalúa con una escala ordinal de semáforo ex-ante (verde, amarillo, rojo), que refleja la combinación entre riesgo y factibilidad: verde cuando las condiciones habilitantes son suficientes para avanzar a corto plazo; amarillo cuando existe potencial, pero se requieren ajustes relevantes (como pilotos metodológicos, arreglos regulatorios o fortalecimiento de capacidades); y rojo cuando la combinación tipología–ecosistema–territorio no es viable en los horizontes de esta tesis o la incertidumbre sigue siendo demasiado alta. Esta valoración integra tanto la madurez biofísica y metodológica del


ecosistema, como el grado de avance institucional, regulatorio y financiero identificado en los capítulos 2 y 3.

**Tabla 8.**

*Matriz ex-ante resumida*

Macrozona	Ecosistema & Madurez	Tipología de proyecto	Instrumento financiero principal	Instrumentos complementarios clave	Evaluación ex-ante global (semáforo)	Comentario síntesis de condiciones habilitantes
Norte-Centro-Sur	E: Marismas (Norte-Centro: significativa; Sur: puntual/ estuarios)  M: Clásico (IPCC/ estándares)	Conservación	PSE (contratos renovables) + <i>trusts/endowments</i> territoriales	Bonos azules (si hay cartera/reglas); tasas/cargos ambientales; SLL/SLB (si corporativo)	 Verde	Ecosistema clásico con MRV consolidado, alta demanda por co-beneficios y buena alineación con PSE/ <i>trusts</i> . Los riesgos de reversión y eventos extremos son manejables vía <i>buffers</i> y arreglos de gobernanza; la principal brecha se concentra en permisos/tenencia y compatibilidad AMP-NDC a nivel territorial.
Norte-Centro-Sur	E: Marismas (Sur: según presencia)  M: Clásico (IPCC/ estándares)	Restauración	<i>Blended finance</i> + deuda concesional/garantías para CAPEX + <i>pay-for-performance</i> (cuando aplique)	SLL/SLB (si corporativo); fondos públicos de innovación	 Amarillo	Alto potencial de remoción, pero CAPEX elevado, arranque lento y exigencia MRV medio-alta. Requiere esquemas de <i>blended finance</i> , fortalecimiento de MRV (suelo 1 m + densidad aparente) y claridad en permisos de borde costero. La factibilidad mejora donde existan capacidades técnicas y marcos regulatorios más maduros.

Macrozona	Ecosistema & Madurez	Tipología de proyecto	Instrumento financiero principal	Instrumentos complementarios clave	Evaluación ex-ante global (semáforo)	Comentario síntesis de condiciones habilitantes
Norte-Centro-Sur	E: Praderas marina (Sur: en bahías reparadas) M: Clásico (IPCC/estándares)	Restauración	<i>Blended finance + pay-for-performance</i> (créditos verificados/PSE)	Deuda concesional/garantías; SLL/SLB (si corporativo); fondos públicos de innovación	 Amarillo	Ecosistema clásico con MRV exigente (suelo 1 m, densidad aparente, verificación periódica). Buen encaje con <i>blended finance</i> y <i>pay-for-performance</i> , pero la turbidez, eventos extremos y brechas en datos/lab QA/QC mantienen la factibilidad en amarillo hasta cerrar brechas de MRV y capacidades locales.
Norte	E: Macroalgas/kelp M: Emergente (en estudio)	Manejo / Protección (AMERB, cuotas/vedas, fiscalización)	PSE/co-beneficios o <i>trusts</i> para OPEX de manejo	<i>Blended/innovación</i> para fiscalización; SLL/SLB con KPIs operativos (no tCO <sub>2</sub> e)	 Verde  Para esquemas PSE/co-beneficios, no para créditos de carbono puros.	Enfoque en evitación y co-beneficios (biomasa, presión extractiva ↓) con MRV centrado en indicadores operativos. La incertidumbre en atribución de DOC/POC y la ausencia de metodologías consolidadas en tCO <sub>2</sub> e limitan el rol de créditos de carbono en el corto plazo, pero hay buen espacio para PSE/co-beneficios anclados en gobernanza comunitaria y comanejo.
Norte-Centro-Sur-Insular/	E: Macroalgas/kelp	Creación / Restauración	Fondos públicos de innovación +	Garantías; SLL/SLB con metas	 Amarillo	Tipología de alto potencial climático pero con muy alta

Macrozona	Ecosistema & Madurez	Tipología de proyecto	Instrumento financiero principal	Instrumentos complementarios clave	Evaluación ex-ante global (semáforo)	Comentario síntesis de condiciones habilitantes
Patagónico	(Insular/ Patagónico: según presencia)  M: Emergente (en estudio)	(pilotos)	filantropía estructurante + <i>blended finance</i>	escalonadas; <i>trusts</i> para OPEX	Viable en el corto plazo sólo como pilotos con financiamiento concesional, más que escalable en el mediano plazo considerado en esta tesis	exigencia metodológica (diseño experimental, trazabilidad de flujos, QA/QC) y gran incertidumbre en costo-efectividad de restauración. Viable sólo como pilotos altamente concesionales y demostrativos, no como portafolio escalable en el horizonte de esta tesis.
Sur	E: Fiordos y canales  M: Emergente (en estudio)	Conservación / Manejo	PSE/co-beneficios + <i>trusts/endowments</i>	Bonos azules (si hay cartera/reglas); canje deuda- naturaleza	 Amarillo	Alta relevancia climática y de biodiversidad, pero con incertidumbre de atribución y mezcla en sedimentos, fuerte interacción con acuicultura y riesgos físicos (eventos extremos). Se favorecen PSE/co-beneficios y <i>trusts</i> , dejando los créditos inmediatos y bonos azules condicionados a reglas claras de cartera, MRV y distribución de beneficios.

Nota: Ver Anexo 7.6 para el detalle de la evaluación.

Fuente: Elaboración Propia

El semáforo ex-ante global no corresponde a un promedio aritmético de las variables de la Tabla 7, desarrolladas en Anexo 7.6, sino que es un juicio que sintetiza la factibilidad en el horizonte de corto y mediano plazo ( $\leq 5$  años) considerado en esta tesis. Para cada combinación tipología–ecosistema–macrozona se ponderan, con especial énfasis, los habilitadores críticos junto con la intensidad de inversión y complejidad financiero–operativa asociada a la tipología y al instrumento principal (por ejemplo: conservación con PSE/*trusts* versus restauración con alto CAPEX y *blended finance*). Así, dos combinaciones con patrones de color similares a nivel de variables pueden recibir un color global distinto si difieren de manera significativa en su exposición a riesgos, en la complejidad de estructuración financiera o al cierre de brechas identificadas mediante rutas habilitantes de corto plazo ( $\leq 3$  años).

En términos generales, la matriz ex-ante muestra que las oportunidades de corto plazo (semáforo verde) se concentran en combinaciones donde confluyen ecosistemas clásicos en tipologías de conservación de marismas y en el manejo/protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano, apoyadas en marcos de MRV relativamente consolidados o en esquemas de PSE/co-beneficios con trayectoria institucional, así como en la presencia de condiciones habilitantes mínimas en regulación, datos y gobernanza. En cambio, las combinaciones asociadas a restauración de marismas y praderas marinas, creación/restauración de macroalgas/kelp y conservación/manejo en fiordos y canales patagónicos se ubican mayoritariamente en amarillo, y esto no es por falta de potencial climático, sino por la necesidad de pilotos metodológicos, fortalecimiento de MRV, cierre de brechas regulatorias y diseños financieros más concesionales. Así, la matriz permite diferenciar entre combinaciones listas para escalar y trayectorias que requieren fases intermedias de demostración e innovación, coherentes, por ejemplo, con la hoja de ruta chilena para el carbono azul.

## **4.2 Condiciones financieras necesarias por tipología**

Esta sección responde al tercer objetivo específico de esta tesis y traduce la matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes (Tabla 5), el cuadro de operacionalización de variables (Tabla 7) y la matriz ex-ante aplicada a Chile (Tabla 8) en condiciones financieras mínimas necesarias por tipología. En vez de evaluar proyectos individuales, se construyen paquetes mínimos viables (PMV) que indican qué combinación de MRV, condiciones regulatorias y de tenencia, capacidades técnicas y de datos, gobernanza y viabilidad de mercado debe alcanzarse para que determinados instrumentos financieros sean utilizables en el horizonte de corto–mediano plazo ( $\leq 5$  años).

Siguiendo la lógica de la matriz, se entiende que un PMV se alcanza cuando las variables críticas, particularmente MRV, condiciones regulatorias/tenencia, capacidades técnicas y gobernanza, alcanzan al menos un nivel intermedio de habilitación, es decir, sin rojos en estos habilitadores críticos en la matriz ex-ante. Luego, la discusión se organiza en tres bloques: (i) conservación en ecosistemas clásicos y emergentes, (ii) restauración de marismas y praderas marinas, y (iii) manejo y creación/restauración de macroalgas/kelp.

### **4.2.1 Proyectos de conservación: marismas y fiordos/canales**

En el caso de proyectos de conservación en marismas, la matriz ex-ante muestra que, cuando se ubican en macrozonas con presencia comprobada de estos ecosistemas y con presión antrópica significativa, constituyen oportunidades de corto plazo (semáforo verde) siempre que se disponga de un mínimo de MRV, claridad regulatoria y arreglos básicos de gobernanza. Para este tipo de tipología, el financiamiento objetivo se orienta principalmente a:

- PSE y esquemas de co-beneficios (biodiversidad, adaptación, medios de vida),
- Trusts o endowments para cubrir OPEX de manejo y monitoreo a largo plazo,
- Eventualmente, bonos azules o deuda etiquetada, condicionados a la existencia de una cartera de sitios y reglas fiduciarias claras.

El PMV de condiciones financieras incluye:

- MRV básico de evitación de emisiones, con inclusión de suelo hasta 1 m y densidad aparente, aplicando los lineamientos del IPCC y estándares relevantes; esto permite cuantificar con suficiente robustez la línea base y las emisiones evitadas, aun cuando no se busque maximizar el volumen de créditos.
- Condiciones regulatorias y de tenencia despejadas en costa/fondo marino, incluyendo compatibilidad con NDC y AMPs, y ausencia de riesgos significativos de doble contabilidad.
- Capacidades técnicas y de datos mínimas, expresadas en acuerdos formales con laboratorios QA/QC, disponibilidad de series históricas básicas y acceso a verificadores o entidades equivalentes.
- Arreglos de gobernanza y reparto de beneficios que incluyan acuerdos de *benefit-sharing*, comités o instancias ESG y mecanismos de queja accesibles a comunidades y actores locales.
- Viabilidad de mercado, entendida como la existencia de estándares aplicables, preferencia por esquemas de calidad (ICVCM) y tiempos/costos de verificación compatibles con proyectos de conservación.

Cuando este PMV se cumple (MRV, regulación, capacidades y gobernanza en nivel intermedio de habilitación), la evidencia ex-ante sugiere que los PSE y *trusts* se vuelven instrumentos preferentes frente a la deuda comercial, ya que permiten alinear mejor la naturaleza de los flujos (OPEX de conservación) con el perfil de riesgo-retorno y la necesidad de permanencia en el tiempo. Bonos azules y canjes de deuda-naturaleza podrían considerarse sólo en etapas posteriores, vinculados a carteras consolidadas de sitios o AMP.

En fiordos y canales patagónicos, la tipología de conservación/manejo comparte la lógica de PSE y *trusts*, pero el PMV es más exigente en términos de riesgo físico, interacción con acuicultura y trazabilidad de sedimentos, lo que explica que, en la matriz ex-ante, estas combinaciones se mantengan en amarillo: son relevantes climática y ecológicamente, pero

requieren mayor maduración metodológica y de gobernanza antes de habilitar instrumentos de mayor escala como bonos azules o canjes de deuda.

#### **4.2.2 Proyectos de restauración: marismas y praderas marinas**

Los proyectos de restauración en marismas y praderas marinas presentan alto potencial climático, pero también mayor intensidad de inversión (CAPEX) y complejidad técnico-metodológica, lo que los sitúa principalmente en amarillo en la matriz ex-ante.

Para este grupo, el financiamiento objetivo se orienta a:

- *Blended finance* que combine subvenciones, recursos públicos, filantropía y deuda/concesionalidad,
- Garantías y fondos de riesgo compartido que reduzcan el costo de capital y protejan frente a fallas de restauración,
- Esquemas de *pay-for-performance* (por ejemplo, pagos contra hitos de restauración o verificación de carbono), una vez que el MRV alcance robustez suficiente.

El PMV de condiciones financieras para esta tipología requiere:

- Un MRV de restauración robusto, con diseño muestral explícito, definición de frecuencia de monitoreo, inclusión de suelo hasta 1 m, estimación de incertidumbre (IC 95%) y criterios conservadores de *buffer* para riesgos de reversión, en línea con los requisitos de integridad ambiental ya definidos en el capítulo 2.
- Permisos regulatorios y de obra claros, en particular en materia de obras hidráulicas, intervención de humedales y compatibilidad con instrumentos de planificación costera; sin este componente, el riesgo regulatorio compromete la posibilidad de estructurar flujos de pago contingentes a resultados.
- Capacidades técnicas y de datos especializadas, que incluyan equipos con experiencia en restauración ecológica, cartografía de detalle, series de datos de referencia y acuerdos formales con laboratorios para QA/QC.

- Compromisos de verificación ex-ante, tales como cartas de intención (LoI) de verificadores o estándares, que adelanten la viabilidad de certificar reducciones/remociones una vez implementadas las acciones.
- Un análisis explícito de riesgos y *buffer*, que vincule la magnitud de los buffers de carbono y las condiciones de permanencia con el diseño financiero (por ejemplo, triggers de pago, escalamiento de tasas o mecanismos de reaseguro).

Cuando MRV y regulación alcanzan al menos nivel intermedio de habilitación, y existen capacidades y arreglos básicos de gobernanza, la matriz ex-ante indica que es posible estructurar esquemas *blended* donde los desembolsos se vinculan a hitos verificables de restauración (como cierre de brechas metodológicas, avance de obras, verificación intermedia). Antes de ese punto, la recomendación es avanzar solo con pilotos altamente concesionales, enfocados en generar evidencia metodológica, fortalecer capacidades y reducir la incertidumbre de costos, más que en emitir créditos de carbono a gran escala.

#### **4.2.3 Proyectos emergentes de macroalgas/kelp: manejo y creación/restauración**

La tipología de macroalgas/kelp se abre en dos subconjuntos: (i) manejo y protección de bancos naturales, con énfasis en el Norte Humboldtiano, y (ii) creación/restauración de macroalgas, aún incipiente en términos de MRV y costo-efectividad. La matriz ex-ante refleja esta diferencia, asignando verde solo al manejo/protección en el Norte y manteniendo en amarillo las combinaciones asociadas a creación/restauración en distintas macrozonas.

Para el manejo/protección de macroalgas/kelp (por ejemplo, a través de AMERB, vedas y manejo adaptativo), el financiamiento objetivo se orienta a:

- PSE y esquemas de co-beneficios (pesquerías, biodiversidad, medios de vida),
- SLL o SLB, en los cuales los KPIs sean operativos (biomasa, cobertura, indicadores de manejo) más que toneladas de CO<sub>2</sub>e.

El PMV en este caso exige:

- Un MRV adaptado a KPIs operativos, que permita monitorear el estado y manejo del recurso, aunque el MRV de carbono (DOC/POC y entierro en sedimentos) aún no esté completamente maduro.
- Claridad regulatoria y de acceso sobre AMERB, derechos de uso y coordinación con fiscalización basada en riesgo.
- Capacidades de monitoreo y metadatos que aseguren la trazabilidad de las series de datos, con acuerdos QA/QC y protocolos de muestreo acordados con instituciones científicas.
- Arreglos de gobernanza participativa robustos con organizaciones de pescadores y comunidades locales, incluyendo *benefit-sharing* y mecanismos de resolución de conflictos.

Cuando estas condiciones alcanzan niveles intermedios (cuando regulación/tenencia, capacidades y gobernanza no presentan rojos en la matriz ex-ante), la evaluación sugiere que es factible financiar pilotos y programas de manejo mediante PSE y SLL/SLB ligados a indicadores biofísicos y de manejo, aun cuando el camino hacia créditos de carbono certificados permanezca condicionado al desarrollo metodológico.

En contraste, los proyectos de creación/restauración de macroalgas/kelp se encuentran en una fase emergente, con altos requerimientos metodológicos (diseños experimentales, trazabilidad de flujos de carbono, modelos de entierro/exports) y gran incertidumbre en la relación costo-efectividad. En este caso, el financiamiento objetivo se orienta a:

- Fondos de innovación y filantropía estructurante,
- *Blended finance* de alto componente concesional,
- Eventualmente, líneas de crédito o bonos etiquetados solo cuando MRV alcance niveles comparables a los ecosistemas clásicos.

El PMV mínimo para esta tipología incluye:

- Protocolos avanzados de trazabilidad DOC/POC y entierro, respaldados por alianzas científico-técnicas,
- Diseño de pilotos con estructura experimental clara, que permitan aprender sobre tasas de crecimiento, permanencia y riesgos físicos,
- Acuerdos formales sobre datos y metadatos, garantizando acceso, gobernanza y uso compartido de la evidencia generada,
- Comités científico-ESG que orienten la toma de decisiones ante alta incertidumbre.

La consecuencia financiera es que, en el horizonte de corto-mediano plazo de esta tesis ( $\leq 5$  años), estas combinaciones son factibles sólo como pilotos demostrativos altamente concesionales, y no como portafolios escalables orientados a créditos de carbono o instrumentos de mercado a gran escala. El rol principal de estos pilotos sería cerrar brechas de MRV y gobernanza para habilitar, en un horizonte más largo, esquemas más sofisticados de financiamiento.

Finalmente, las condiciones financieras necesarias por tipología no se reducen a una abstracta lista de requisitos, sino a PMV que integran MRV, regulación, capacidades, gobernanza y demanda de mercado, diferenciados según el tipo de intervención (conservación, restauración, manejo/creación) y el estado de madurez metodológica de cada ecosistema. Estos PMV funcionan como puente entre la matriz estratégica presentada en la sección 4.1 y las rutas habilitantes de corto plazo desarrolladas en la sección 4.4, y constituyen la principal contribución operativa de la tesis en torno al diseño de mecanismos financieros para el carbono azul en Chile. En este sentido, los PMV propuestos dan respuesta directa al tercer objetivo específico: establecer las condiciones financieras necesarias para viabilizar el desarrollo de proyectos de carbono azul en el contexto chileno.

#### **4.3 Proposiciones P1–P8 ex-ante (Soporta/Parcial/No)**

Las proposiciones P1–P8 definidas en la Tabla 6, resumen la lógica de correspondencia entre tipologías de proyectos de carbono azul, condiciones habilitantes y mecanismos financieros, y fueron operacionalizadas mediante las variables de la Tabla 7 y la matriz ex-ante aplicada

en la Tabla 8. En esta sección, la validación ex-ante se entiende como un ejercicio de coherencia interna entre los patrones que emergen de la matriz tipología–ecosistema–macrozona–instrumento y las proposiciones formuladas en el Capítulo 2. No es una prueba estadística sobre proyectos en operación, sino una revisión de consistencia entre la teoría, la evidencia documental y el juicio experto que sustenta la ruta estratégica.

**P1. Conservación con alto riesgo de reversión y MRV accesible: preferencia por PSE/trusts frente a deuda comercial:** Postula que en macrozonas con alto riesgo de reversión y MRV accesible, la conservación se alinea mejor con PSE y *trusts/endowments* que con deuda comercial. En la matriz ex-ante, las combinaciones de conservación de marismas en macrozonas Norte–Centro–Sur con madurez metodológica clásica (IPCC/estándares) muestran semáforo verde, con instrumentos principales PSE y *trusts* territoriales, y la deuda comercial queda relegada a un rol complementario y condicionado a esquemas de cartera o estructuras fiduciarias robustas. Este patrón es coherente con los umbrales definidos en la sección 3, que priorizan flujos estables y predecibles en contextos de riesgo físico relevante. En síntesis, la evidencia ex-ante de esta tesis **soporta** la proposición P1.

**P2. Restauración de marismas/praderas con CAPEX alto: rol del blended finance en la bancarización:** Plantea que, en restauración de marismas y praderas marinas con CAPEX alto y co-beneficios locales, el *blended finance* aumenta la probabilidad de bancarización. En la Tabla 8, las filas correspondientes a restauración de marismas y praderas marinas en macrozonas Norte–Centro–Sur se ubican en amarillo, con instrumentos principales basados en combinaciones de *blended finance*, deuda concesional/garantías y esquemas *pay-for-performance*. Esto indica que la restauración difícilmente es viable sólo con deuda comercial o recursos públicos aislados, y que la mezcla de fuentes y grados de concesionalidad es clave para que estos proyectos resulten financiados. Sin embargo, la evaluación ex-ante también muestra que la factibilidad sigue siendo condicionada por brechas en MRV, permisos de borde costero y capacidades técnicas, lo que limita la bancarización inmediata. En síntesis, la evidencia ex-ante **soporta parcialmente** la proposición P2: confirma el rol habilitante del

*blended finance*, pero subraya que, en el horizonte considerado, aún persisten restricciones relevantes para su materialización.

**P3. Macroalgas/kelp (manejo/creación): necesidad de pilotos con financiamiento concesional:** Sostiene que, en macroalgas/kelp (manejo/creación), la falta de metodologías consolidadas y de trazabilidad de exportes de carbono exige pilotos financiados con recursos concesionales. En la matriz, la creación/restauración de macroalgas/kelp en las distintas macrozonas se evalúa en amarillo, con instrumentos objetivo centrados en fondos de innovación, filantropía estructurante y SLL antes de acceder a créditos de carbono, mientras que la tipología de manejo/protección en el Norte Humboldtiano, aunque se clasifica en verde, se asocia principalmente a PSE/co-beneficios y SLL con KPIs operativos, no a monetización inmediata de tCO<sub>2</sub>e. Esto es consistente con los umbrales de “escala piloto” definidos en el Capítulo 3 para ecosistemas emergentes, donde la entrada a mercados de carbono se condiciona a avances en MRV de exportes y entierro (DOC/POC). En consecuencia, la evidencia ex-ante **soporta** la proposición P3, reforzando que el trayecto razonable para macroalgas/kelp en Chile pasa por pilotos concesionales antes de aspirar a portafolios escalables.

**P4. Fiordos: incertidumbre de atribución y mezcla favorece PSE/co-beneficios y trusts:** Afirma que, en fiordos, la incertidumbre de atribución y mezcla favorece PSE/co-beneficios y *trusts* sobre créditos inmediatos. La combinación Sur-Fiordos y canales-Conservación/Manejo aparece en amarillo en la Tabla 8, con instrumentos principales PSE/co-beneficios y *trusts/endowments*, mientras que los bonos azules y canjes deuda-naturaleza se condicionan a reglas de cartera, MRV y distribución de beneficios más exigentes. Este resultado refleja tanto la alta relevancia climática y de biodiversidad de los fiordos como las dificultades de atribuir cambios en stocks de carbono a intervenciones locales, en línea con el análisis metodológico y de gobernanza del Capítulo 2. En síntesis, la evidencia ex-ante **soporta** la proposición P4.

**P5. Benefit-sharing y gobernanza ESG: efecto sobre riesgo social y perfil riesgo-retorno:** Propone que la existencia de arreglos de *benefit-sharing* y comités ESG reduce el riesgo social/reputacional y mejora el perfil riesgo-retorno percibido. La variable de gobernanza y reparto de beneficios se incorpora explícitamente en la Tabla 7 y es uno de los ejes que contribuyen al semáforo ex-ante. Allí donde se considera la posibilidad de acuerdos de *benefit-sharing* y mecanismos participativos, por ejemplo, en conservación de marismas y manejo de macroalgas en el Norte, el color global mejora respecto de combinaciones en las que estos arreglos están ausentes o bien, son inciertos. No obstante, en el contexto chileno la evidencia sigue siendo principalmente documental y basada en analogías con experiencias internacionales, más que en trayectorias locales consolidadas de distribución de beneficios en carbono azul. Por esto, la validación que ofrece esta tesis es todavía de carácter conceptual. En síntesis, la evidencia ex-ante **soporta parcialmente** la proposición P5.

**P6. QA/QC y verificadores locales: reducción de OPEX y tiempos de certificación:** Plantea que la disponibilidad de laboratorios con QA/QC y de verificadores locales reduce OPEX y acorta los tiempos de certificación. En la matriz ex-ante, la variable de capacidades técnicas y de datos distingue claramente entre combinaciones donde existen laboratorios, series históricas y potencial de verificación local, y aquellas donde estos elementos son incipientes. En los primeros casos, por ejemplo, conservación de marismas en macrozonas con trayectoria de monitoreo, las condiciones habilitantes contribuyen a semáforos verdes, mientras que en tipologías emergentes o territorios con baja infraestructura (macroalgas/kelp en creación/restauración, fiordos y canales) la ausencia de QA/QC robusto es una de las razones que restringe el paso a verde. Esto es consistente con la literatura sobre costos de transacción y cronogramas de certificación discutida en el Capítulo 2. En síntesis, la evidencia ex-ante **soporta** la proposición P6.

**P7. Fuentes públicas predecibles: anclaje del OPEX de conservación:** Indica que fuentes públicas predecibles, como tasas o cargos ambientales, anclan el OPEX de conservación y mejoran la sostenibilidad financiera. En la Tabla 8, los instrumentos complementarios para

conservación de marismas incluyen explícitamente tasas/cargos ambientales y presupuestos públicos como mecanismos deseables para estabilizar flujos de PSE y fortalecer *trusts* territoriales; sin embargo, en el contexto chileno estos esquemas se encuentran aún en fase de diseño o discusión, y no como arreglos consolidados. La evaluación ex-ante reconoce su rol potencial, pero la clasificación verde de ciertas combinaciones principalmente descansa en la combinación entre MRV clásico, demanda de co-beneficios y PSE/*trusts*, más que en la existencia actual de cargos ambientales específicos para carbono azul. En consecuencia, la evidencia ex-ante **soporta parcialmente** la proposición P7: confirma su relevancia como dirección de política financiera, pero no puede validarla empíricamente en el corto plazo.

**P8. Encaje tipología-macrozona-ecosistema (MEOW-Chile) y factibilidad financiera:**

Finalmente, P8 sostiene que la alineación entre tipología de proyecto y macrozona/ecosistema, definida por el marco MEOW-Chile, mejora la factibilidad de diseño de instrumentos financieros y ayuda a que la forma de financiar sea consistente con el perfil de riesgo biofísico de cada ecosistema y territorio. La construcción de la matriz ex-ante se basa precisamente en este encaje: la Tabla 4 define la distribución de ecosistemas por macrozona y provincia MEOW, la Tabla 5 cruza tipologías con instrumentos financieros y condiciones habilitantes, y la Tabla 7 incorpora la territorialidad como variable explícita. El resultado es que las combinaciones alineadas con la presencia efectiva de ecosistemas y con la lógica de riesgo-instrumento, por ejemplo, conservación de marismas y manejo de macroalgas Norte Humboldtiano, tienden a clasificarse en verde, mientras que combinaciones forzadas o con menor respaldo ecosistémico/metodológico (como creación/restauración de macroalgas en todo el país o intervenciones en fiordos sin claridad de atribución) permanecen en amarillo. En síntesis, la evidencia ex-ante **soporta** la proposición P8.

En conjunto, el ejercicio ex-ante no refuta ninguna de las proposiciones formuladas en el Capítulo 2, sino que distingue entre aquellas que se ven fuertemente respaldadas por los

patrones de la matriz (P1, P3, P4, P6 y P8) y aquellas cuyo apoyo es todavía parcial y depende de desarrollos institucionales y financieros futuros (P2, P5 y P7). Esta diferenciación entrega una hoja de ruta concreta para la agenda de investigación y de política: profundizar la evidencia empírica donde el soporte es parcial, y utilizar las proposiciones sólidamente respaldadas como insumo directo para el diseño de instrumentos y programas piloto de carbono azul en Chile.

#### **4.4 Rutas habilitantes de corto plazo**

Se proponen rutas habilitantes de corto plazo ( $\leq 3$  años) para un subconjunto de combinaciones tipología–ecosistema–macrozonas priorizadas, entendidas como acciones que permiten crear las condiciones mínimas para estructurar proyectos y mecanismos financieros en el horizonte de corto–mediano plazo ( $\leq 5$  años) considerado en esta tesis.

Sobre esta base, se priorizan tres combinaciones tipología–ecosistema–macrozona que, según la matriz ex-ante (Tabla 8), concentran oportunidades reales de avanzar en el corto plazo: (i) restauración de marismas y praderas marinas en macrozonas Norte–Centro–Sur, (ii) manejo/protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano, y (iii) conservación y manejo en fiordos y canales de la macrozona Sur. En los tres casos, las rutas habilitantes no buscan “cerrar” proyectos específicos, sino orientar qué condiciones mínimas se deben instalar o reforzar en los próximos 3 años para que los PMV definidos en la sección 4.2 puedan materializarse en proyectos y mecanismos financieros concretos.

##### **4.4.1 Restauración de marismas y praderas marinas**

En restauración de marismas y praderas marinas, la matriz ex-ante clasifica estas combinaciones en amarillo, esto es, que existe un alto potencial climático y de co-beneficios, pero la factibilidad depende de cerrar las brechas en MRV, permisos y capacidades técnicas,

además de contar con esquemas adecuados de *blended finance*. La ruta habilitante de corto plazo se organiza en cuatro bloques de acción:

- **MRV y línea base:** acordar protocolos de MRV de restauración que incluyan suelos hasta 1 m, densidad aparente, diseño muestral y estimación de incertidumbre, partiendo por sitios piloto representativos (estuarios y bahías reparadas). Esto implica convenios formales con laboratorios (QA/QC), definición de series mínimas de datos y lineamientos comunes con potenciales verificadores.
- **Permisos y tenencia:** dar mayor claridad y previsibilidad a los permisos de borde costero, humedales y fondo marino para intervenciones de restauración, incluyendo compatibilidad con áreas protegidas y con la NDC. En el corto plazo, esto puede traducirse en guías técnicas, criterios de evaluación y acuerdos administrativos que reduzcan la incertidumbre regulatoria para proyectos demostrativos.
- **Capacidades técnicas y de datos:** fortalecer equipos con experiencia en restauración ecológica, cartografía y monitoreo, y consolidar bancos de datos geoespaciales y series históricas relevantes. Ello incluye identificar instituciones ancla para apoyar proyectos piloto y articular redes de colaboración científico-técnica.
- **Diseño financiero y gobernanza:** desarrollar prototipos de esquemas de *blended finance* para restauración (combinando subvenciones, fondos climáticos y deuda concesional/garantías), vinculados a hitos verificables de avance. En paralelo, avanzar en arreglos de gobernanza que incluyan acuerdos de *benefit-sharing*, comités de seguimiento y mecanismos de participación local.

Si estas acciones se implementan en el corto plazo ( $\leq 3$  años), la combinación marismas/praderas-restauración puede transitar desde un amarillo condicionado hacia

escenarios de mayor factibilidad, en los que los instrumentos *blended*, los PSE y, eventualmente, esquemas *pay-for-performance* tengan un punto de apoyo más sólido.

#### **4.4.2 Manejo y protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano**

Para el manejo y protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano, la matriz ex-ante muestra un semáforo verde cuando se orienta a PSE y co-beneficios, usando como base la experiencia de manejo/comanejo en áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos. Esta ruta puede apoyarse, además, en experiencias previas de cultivo y repoblamiento de macroalgas pardas en la región de Tarapacá, donde se han probado metodologías de producción de plántulas de *Lessonia* spp. y *Macrocystis pyrifera* desde el laboratorio al mar en articulación con pescadores artesanales (Ávila et al., 2010). Aquí la ruta habilitante de corto plazo pone el énfasis en reconocer y fortalecer lo que ya existe, más que en crear desde cero:

- **Objetivos y métricas de manejo:** explicitar objetivos de manejo vinculados a carbono azul y co-beneficios (biomasa, biodiversidad, medios de vida) y definir indicadores operativos simples (KPIs) que puedan ser monitoreados de forma realista en el contexto local (cobertura, estructura de bosques, esfuerzo de manejo, cumplimiento de planes).
- **MRV operativo y datos:** acordar protocolos de monitoreo centrados en estos KPIs, asegurando metadatos claros y acuerdos sobre propiedad y uso de la información. En esta fase, el foco está menos en toneladas de CO<sub>2</sub>e y más en generar evidencia consistente sobre el estado y manejo de los bosques de kelp.
- **Arreglos institucionales y de gobernanza:** reforzar mecanismos de comanejo, participación y resolución de conflictos, incluyendo acuerdos de *benefit-sharing*

explícitos para eventuales flujos financieros asociados a PSE o instrumentos vinculados a la sostenibilidad (SLL/SLB).

- **Prototipos financieros:** diseñar pilotos de PSE/co-beneficios y, eventualmente, SLL/SLB con KPIs de manejo, de modo que organizaciones locales y actores privados puedan testear esquemas donde el desempeño en manejo de macroalgas tenga efectos visibles en las condiciones financieras.

En conjunto, estas acciones permiten que el manejo/protección de macroalgas en el Norte Humboldtiano avance de forma creíble en el corto plazo, aun sin MRV de carbono completamente consolidado, y sienta las bases para que, en un horizonte de corto–mediano plazo, se evalúe la posibilidad de conectar estos esfuerzos con instrumentos climáticos más sofisticados.

#### **4.4.3 Conservación y manejo en fiordos y canales de la macrozona sur**

En fiordos y canales patagónicos, la matriz ex-ante también ubica las combinaciones en amarillo, principalmente por la complejidad de atribuir cambios en los stocks de carbono a intervenciones locales y por la interacción con otras actividades productivas. La ruta habilitante de corto plazo se orienta a reducir incertidumbres críticas y preparar el terreno para instrumentos como PSE/co-beneficios y, en etapas posteriores, bonos azules o canjes de deuda:

- **Priorización territorial:** identificar áreas prioritarias para conservación y manejo, articulando la información disponible en áreas protegidas, otros instrumentos de planificación y análisis de sensibilidad ecológica. Esta priorización no crea nuevos instrumentos por sí sola, pero orienta dónde concentrar esfuerzos de monitoreo y pilotos.
- **Línea base y MRV exploratorio:** avanzar en líneas base de sedimentos y parámetros oceanográficos relevantes, con diseños que permitan mejorar el entendimiento del

rol de los fiordos en el ciclo del carbono. En el corto plazo, esto puede materializarse en proyectos de monitoreo conjunto entre instituciones científicas y autoridades sectoriales.

- **Coordinación institucional y gobernanza:** fortalecer la coordinación entre actores con competencias en la zona (ambiental, pesca-acuicultura, áreas protegidas, planificación territorial), con el objetivo de reducir superposiciones y contradicciones en permisos y objetivos de manejo.
- **Diseño conceptual de esquemas financieros:** elaborar propuestas conceptuales de PSE/co-beneficios y *trusts/endowments* asociadas a fiordos prioritarios, identificando posibles fuentes de financiamiento y reglas básicas de asignación y uso de los recursos.

Estas acciones no convierten a los fiordos en una “línea rápida” hacia créditos de carbono, pero sí permiten que, en el horizonte de la tesis, se cuente con una base mucho más sólida para discutir esquemas de financiamiento orientados a conservación, co-beneficios y, eventualmente, instrumentos de mayor escala.

En consecuencia, las rutas habilitantes de corto plazo no intentan cubrir todo lo que habría que hacer, sino marcar tramos estratégicos donde tiene sentido empezar a mover fichas en los próximos años. Su principal aporte es mostrar que, incluso con incertidumbre y brechas relevantes, hay combinaciones tipología–ecosistema–territorio en las que es razonable actuar ahora para ir creando las condiciones que permitan estructurar proyectos y mecanismos financieros de carbono azul en un horizonte de corto–mediano plazo ( $\leq 5$  años). El diseño detallado de instrumentos específicos, cambios normativos o programas de financiamiento queda fuera del alcance de esta tesis, pero las rutas habilitantes ofrecen una

base concreta para orientar decisiones de política pública, diseño financiero y agendas de investigación aplicada en torno al carbono azul en Chile.

#### **4.5 Portafolio priorizado ex-ante**

A partir de la matriz ex-ante (Tabla 8), de las condiciones financieras mínimas por tipología (sección 4.2) y de las rutas habilitantes de corto plazo (sección 4.4), este apartado propone un **portafolio priorizado ex-ante** de combinaciones tipología–ecosistema–macrozona para el carbono azul en Chile. El objetivo no es “elegir ganadores” a nivel de proyectos individuales, sino ordenar las oportunidades en tres grupos: (i) núcleo de corto plazo, (ii) núcleo de pilotos estratégicos y (iii) frontera en observación, de acuerdo con su factibilidad en el horizonte de corto–mediano plazo ( $\leq 5$  años) considerado en esta tesis.

El criterio de priorización combina: (i) el color global del semáforo ex-ante, (ii) la madurez metodológica y de capacidades por ecosistema, (iii) la complejidad financiero–operativa de cada tipología, y (iv) la posibilidad realista de activar rutas habilitantes de corto plazo ( $\leq 3$  años) sin exigir cambios estructurales que excedan por completo el alcance del contexto actual chileno.

##### **4.5.1 Núcleo de corto plazo: combinaciones “listas para avanzar”**

El núcleo de corto plazo agrupa las combinaciones que el semáforo ex-ante clasifica en verde y que, además, cuentan con instrumentos financieros razonablemente claros y rutas habilitantes accionables en el corto plazo. En esta tesis se identifican dos núcleos de este tipo:

##### **Conservación de marismas en macrozonas Norte–Centro–Sur**

- **Ecosistema y tipología:** marismas costeras en contextos estuarinos, con tipologías de conservación.
- **Instrumentos principales:** PSE y *trusts/endowments* territoriales para OPEX de manejo, con posibilidad de complementar con bonos azules o deuda etiquetada sólo cuando exista una cartera de sitios y reglas fiduciarias claras.

- **Condiciones habilitantes:** MRV clásico disponible, aunque con tareas pendientes en suelos (1 m) y densidad aparente; marcos regulatorios y de tenencia en evolución, pero abordables; capacidades y gobernanza en nivel intermedio, donde el diseño de acuerdos de benefit-sharing es una pieza clave.
- **Rol en el portafolio:** combinación que permite avanzar relativamente rápido en proyectos de conservación y esquemas PSE, con flujos financieros estables y co-beneficios visibles, sin exigir un salto metodológico tan alto como otras tipologías.

### **Manejo y protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano**

- **Ecosistema y tipología:** bosques de macroalgas/kelp en macrozonas del Norte Humboldtiano, con foco en manejo/protección (por ejemplo, a través de AMERB, cuotas y vedas).
- **Instrumentos principales:** PSE/co-beneficios y SLL/SLB con KPIs operativos más que toneladas de CO<sub>2</sub>e, aprovechando la trayectoria en comanejo y gobernanza local.
- **Condiciones habilitantes:** aunque el MRV en términos de carbono (DOC/POC y entierro) es emergente, sí existen capacidades de manejo, arreglos institucionales y rutas habilitantes de corto plazo centradas en métricas operativas y co-beneficios.
- **Rol en el portafolio:** permite abrir una línea de acción en macroalgas coherente con el contexto chileno actual, sin sobredimensionar la capacidad inmediata de generar créditos de carbono, pero avanzando en financiamiento vinculado a desempeño en manejo.

Estas dos combinaciones representan el corazón operativo del portafolio priorizado ex-ante, son los casos en que resulta más razonable “mover fichas ahora”, tanto desde el punto de

vista técnico como financiero, y donde las rutas habilitantes propuestas pueden traducirse en proyectos concretos en el horizonte de corto-mediano plazo.

#### **4.5.2 Núcleo de pilotos estratégicos: restauración y ecosistemas emergentes**

El núcleo de pilotos estratégicos agrupa combinaciones clasificadas en amarillo, pero con alto potencial climático y de aprendizaje, para las cuales esta tesis sugiere avanzar mediante pilotos demostrativos con financiamiento mayoritariamente concesional. Aquí se ubican tres bloques:

- I. Restauración de marismas en macrozonas Norte-Centro-Sur
- II. Restauración de praderas marinas en Norte-Centro-Sur (bahías reparadas)
- III. Creación/restauración de macroalgas/kelp en macrozonas con presencia identificada

En los tres casos se observa un patrón común:

- El potencial climático y de co-beneficios es alto, pero la intensidad de inversión (CAPEX) y las exigencias de MRV elevan los costos de transacción y el riesgo técnico.
- La bancarización depende de *blended finance*, con una mezcla de subvenciones, fondos climáticos, filantropía estructurante y deuda concesional/garantías, más que de deuda comercial pura.
- Las rutas habilitantes de corto plazo (sección 4.4) se centran en cerrar brechas de MRV, permisos y capacidades, y en diseñar esquemas de pago contra hitos (*pay-for-performance*) que reduzcan la exposición a resultados inciertos en las etapas iniciales.

Dentro de este núcleo, la restauración de marismas y praderas marinas se perfila como la franja más cercana al núcleo de corto plazo, por la existencia de metodologías IPCC/estándares y por la posibilidad de anclar parte del flujo financiero en créditos de carbono una vez que el MRV robusto esté operativo. La creación/restauración de

macroalgas/kelp, en cambio, se mantiene como frontera piloto: su inclusión en el portafolio priorizado responde más a su valor estratégico de aprendizaje y alineamiento con la hoja de ruta chilena, que a una expectativa de escalamiento masivo en  $\leq 5$  años.

Este núcleo de pilotos ofrece un espacio claro para que la política pública, los fondos climáticos y la cooperación internacional orienten recursos a proyectos que permitan, en la práctica, responder preguntas metodológicas pendientes y reducir la incertidumbre de costos y riesgos.

#### **4.5.3 Frontera en observación: fiordos y combinaciones no priorizadas**

Finalmente, la frontera en observación agrupa aquellas combinaciones que, aun siendo relevantes desde el punto de vista climático y ecológico, muestran brechas críticas de MRV, gobernanza o capacidades que impiden recomendarlas como foco principal de acción en el horizonte de esta tesis. Aquí se incluyen:

- **Conservación y manejo en fiordos y canales de la macrozona Sur.** Donde la complejidad de atribución y mezcla, la interacción con otras actividades (por ejemplo, acuicultura) y la necesidad de coordinación interinstitucional hacen que el semáforo se mantenga en amarillo, con énfasis en monitoreo, priorización de áreas y coordinación institucional antes de pensar en instrumentos de mayor escala como bonos azules o canjes de deuda.
- **Otras combinaciones menos representativas o con baja presencia ecosistémica.** Podrían ser relevantes en contextos locales específicos, pero que no alcanzan, en este momento, el umbral de factibilidad para integrarse al portafolio priorizado ex-ante a nivel país.

Más que descartarlas, esta tesis sugiere mantener estas combinaciones bajo observación, vinculándolas a agendas de investigación aplicada, monitoreo sistemático y desarrollo de marcos normativos. En la práctica, esto significa reconocer que no todo lo que es importante ecológicamente puede transformarse de inmediato en un eje de portafolio financiero, pero

que sí puede y debe alimentar las decisiones sobre dónde invertir en ciencia, datos y arreglos institucionales.

#### 4.5.4 Síntesis del portafolio priorizado

En conjunto, el portafolio priorizado ex-ante queda estructurado en tres capas.

- Un **núcleo de corto plazo**: donde la conservación de marismas y el manejo/protección de macroalgas en el Norte Humboldtiano ya cuentan con condiciones mínimas para avanzar, especialmente bajo esquemas PSE, *trusts* y SLL/SLB vinculados a desempeño.
- Un **núcleo de pilotos estratégicos**: donde la restauración de marismas y praderas marinas, y la creación/restauración de macroalgas, requieren financiamiento concesional y *blended*, con foco en aprender, reducir incertidumbre y fortalecer capacidades.
- Una **frontera en observación**: donde los fiordos y otras combinaciones menos maduras demandan sobre todo monitoreo, coordinación institucional y desarrollo metodológico, más que proyectos inmediatos orientados a créditos de carbono.

Esta estructura permite pasar de matrices y tableros de semáforos a una propuesta concreta de dónde actuar primero, dónde pilotar y dónde observar y preparar terreno, ofreciendo una base práctica para el diseño de programas piloto, agendas de financiamiento y decisiones de política en torno al carbono azul en Chile.

En conjunto, la matriz ex-ante aplicada a Chile, las condiciones financieras mínimas por tipología, las rutas habilitantes de corto plazo y el portafolio priorizado ex-ante permiten cerrar el ciclo entre la clasificación de tipologías, la lectura territorial de los ecosistemas marino-costeros y las condiciones financieras necesarias para viabilizar proyectos de carbono azul en Chile. Con ello, este capítulo contribuye directamente al objetivo general de analizar tipologías y condiciones financieras para orientar la inversión público-privada en mecanismos de mitigación climática y da continuidad a los objetivos específicos: (i) retoma

y aplica la clasificación de tipologías desarrollada a partir de la literatura internacional, (ii) vincula dichas tipologías con los ecosistemas y territorios marino–costeros chilenos, y (iii) establece los paquetes mínimos de condiciones financieras requeridos para hacer factible su desarrollo en el contexto nacional.

#### **4.6 Discusión de resultados**

Los resultados del Capítulo 4 combinan tres planos: (i) la aplicación de la ruta estratégica a las macrozonas marino–costeras de Chile mediante la matriz ex-ante, (ii) la identificación de PMV de condiciones financieras por tipología, y (iii) la priorización de rutas habilitantes y de un portafolio ex-ante de combinaciones tipología–ecosistema–territorio. Esta sección discute estos resultados a la luz de la literatura y de marcos globales sobre carbono azul, sus implicancias para el diseño de instrumentos y políticas en Chile, y las principales limitaciones y vacíos del enfoque utilizado.

##### **4.6.1 Coherencia y contrastes con la literatura y marcos globales**

En primer lugar, la distinción entre ecosistemas clásicos (marismas, praderas marinas y manglares) y ecosistemas emergentes (macroalgas/kelp, fiordos y otros sistemas aún en estudio) es consistente con el estado del arte recogido en el Capítulo 2, donde los primeros se apoyan en metodologías IPCC consolidadas para humedales costeros, mientras que los segundos presentan incertidumbres importantes sobre flujos netos de carbono, adicionalidad y trazabilidad de exportes hacia sedimentos o aguas profundas.

La matriz ex-ante y el portafolio priorizado reflejan esta diferencia: las oportunidades clasificadas en verde se concentran en combinaciones ligadas a ecosistemas clásicos (conservación de marismas) y a líneas de manejo de macroalgas/kelp que no descansan de inmediato en créditos de carbono, sino en co-beneficios y desempeño operativo. Las tipologías asociadas a restauración de marismas y praderas marinas, creación/restauración de macroalgas y fiordos se ubican en amarillo, lo que es coherente con la literatura que

reconoce su potencial climático, pero también las brechas metodológicas y la necesidad de investigación aplicada y pilotos antes de escalar.

En segundo lugar, los resultados conversan con la discusión global sobre integridad ambiental e integridad financiera. El Capítulo 2 planteó que, sin una línea base clara, un MRV robusto y salvaguardas contables, no es posible sostener evaluaciones de riesgo-retorno ni estructuras financieras de calidad. La matriz ex-ante llevó esta idea a terreno operativo: allí donde el MRV es incipiente o la contabilidad es incierta (como en el caso de macroalgas creación/restauración o en fiordos), el semáforo global no llega a verde y las combinaciones se recomiendan solo como pilotos altamente concesionales, no como portafolios escalables. Esto es consistente con las advertencias de la literatura y de iniciativas de integridad, como los debates recientes sobre mecanismos basados en kelp o fiordos, que han llamado a no sobreprometer créditos de carbono donde la ciencia todavía está en construcción.

En tercer lugar, la lógica de encaje tipología-macrozona-ecosistema que estructura la matriz es coherente con marcos de planificación espacial como MEOW y con las hojas de ruta de carbono azul que recomiendan ordenar primero “dónde están” los ecosistemas y “qué tan listos” están antes de proponer mecanismos financieros. La priorización de conservación de marismas y manejo de macroalgas en el Norte Humboldtiano como núcleo de corto plazo se alinea con una estrategia de *no-regrets*, esto es, avanzar primero donde hay mayor confluencia entre presencia de ecosistemas, madurez metodológica relativa y capacidades institucionales, y dejar en piloto u observación aquellas combinaciones donde la brecha de información y gobernanza sigue siendo significativa.

En conjunto, la discusión con la literatura muestra que los resultados del Capítulo 4 no contradicen los marcos globales, sino que los aterrizan al caso chileno: confirman el rol dominante de humedales costeros en la primera ola de proyectos de carbono azul, acotan las expectativas sobre ecosistemas emergentes y refuerzan la necesidad de alinear integridad

ambiental, financiera y territorialidad antes de proponer mecanismos de financiamiento a gran escala.

#### **4.6.2 Implicancias para el diseño de instrumentos y políticas en Chile**

Los resultados también tienen implicancias concretas para el diseño de instrumentos financieros y políticas públicas en Chile. En términos de instrumentos, el núcleo de corto plazo sugiere que el foco inicial debiera estar en:

**PSE y trusts/endowments.** Asociados a conservación de marismas, donde ya existe una base metodológica aceptada y una demanda potencial por co-beneficios (biodiversidad, adaptación, protección costera).

**PSE, esquemas de co-beneficios y SLL/SLB con KPIs operativos.** Para manejo de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano, sin forzar prematuramente su traducción a créditos de carbono certificados.

Esto implica que las primeras señales de política y financiamiento podrían concentrarse en programas piloto y arreglos institucionales que permitan probar estos instrumentos en contextos acotados, pero representativos, antes de explorar opciones más complejas como bonos azules o canjes de deuda. El portafolio priorizado y las rutas habilitantes entregan insumos específicos sobre qué condiciones mínimas habría que instalar o reforzar (MRV, permisos, capacidades, gobernanza) para que estos instrumentos sean viables.

Desde el punto de vista de la política pública, los resultados refuerzan tres mensajes:

- 1. No todo puede ni debe ir a créditos de carbono en el corto plazo.** La tesis muestra que existen combinaciones donde es más razonable avanzar con esquemas de PSE, co-beneficios o financiamiento climático no transable (por ejemplo, restauración

temprana o fiordos), y que forzar la lógica de créditos en ecosistemas emergentes puede generar riesgos de integridad y de legitimidad.

- 2. Las decisiones sobre instrumentos no pueden tomarse al margen de la territorialidad.** Las macrozonas y combinaciones tipología-ecosistema-territorio propuestas en la matriz ofrecen un mapa para priorizar esfuerzos, en lugar de pensar en mecanismos neutrales al territorio.
- 3. El rol del Estado y de la cooperación internacional es clave en la fase de pilotos y habilitación.** En casi todas las combinaciones amarillas, el *blended finance* y los recursos concesionales aparecen como condiciones de entrada para reducir la incertidumbre y los costos de aprender, lo que sugiere un espacio claro para fondos públicos, climáticos y de cooperación alineados con la ruta estratégica.

En resumen, los resultados invitan a ordenar y secuenciar las ambiciones de carbono azul en Chile, avanzar con instrumentos relativamente simples donde hay más piso, invertir en pilotos donde la ciencia y la institucionalidad aún se están construyendo, y mantener una agenda explícita de observación y preparación en ecosistemas y combinaciones donde todavía no es responsable prometer resultados de mitigación cuantificados.

#### **4.6.3 Limitaciones del enfoque ex-ante y vacíos de información**

Finalmente, es importante reconocer las limitaciones del enfoque ex-ante usado en esta tesis y los vacíos de información que persisten. En primer lugar, la matriz y el portafolio se construyen a partir de análisis documental, síntesis de la literatura y juicio experto, no sobre una base de proyectos de carbono azul ya implementados y evaluados en Chile. Esto significa que los resultados entregan una aproximación cualitativa y estratégica, más que predicciones cuantitativas sobre volúmenes de carbono o flujos financieros.

En segundo lugar, si bien la matriz incorpora variables como MRV, regulación, capacidades y gobernanza, la información disponible es heterogénea entre ecosistemas y macrozonas. En

algunos casos, por ejemplo, marismas y ciertas praderas, existen datos y experiencias más sistematizadas; en otros como macroalgas/kelp, fiordos, ecosistemas calcificadores, la evidencia es fragmentaria o proviene mayoritariamente de estudios internacionales, lo que introduce incertidumbre al trasladarla al caso chileno.

En tercer lugar, la tesis no desarrolla modelos financieros detallados ni análisis de costo-efectividad por tipo de proyecto. Las condiciones financieras necesarias se plantean en términos de PMV y familias de instrumentos (PSE, *trusts*, *blended*, SLL/SLB, bonos, canjes), pero no se construyen curvas de costos marginales, modelos de flujo de caja o estructuras contractuales específicas. Ese nivel de detalle requeriría estudios de caso adicionales, información de mercado y negociaciones concretas con actores públicos y privados.

Por último, aunque la matriz considera la dimensión de gobernanza y reparto de beneficios, la tesis no profundiza en análisis sociopolíticos detallados sobre conflictos, percepciones locales o dinámicas de poder en los territorios. Estos aspectos serán determinantes para la implementación de cualquier proyecto o mecanismo financiero en la práctica y constituyen un campo evidente para trabajos futuros.

Reconocer estas limitaciones no invalida los resultados, sino que por el contrario, ayuda a ubicarlos en su lugar: la tesis ofrece un marco estratégico y una hoja de ruta ex-ante que orienta dónde tiene sentido avanzar primero, qué condiciones financieras mínimas son necesarias y qué combinaciones tipología-ecosistema-territorio requieren más evidencia antes de ser escaladas. A partir de aquí, las siguientes etapas razonables son profundizar en estudios de caso, modelación financiera y análisis participativos en territorios específicos, usando la ruta estratégica y el portafolio priorizado como punto de partida y no como punto de llegada definitivo.

## 5 CONCLUSIONES

Esta tesis tuvo como objetivo general analizar tipologías y condiciones financieras de proyectos de carbono azul en Chile, para orientar la inversión público–privada y contribuir a mecanismos de mitigación climática. Para ello se formularon tres objetivos específicos: (i) clasificar las tipologías de proyectos de carbono azul existentes a nivel internacional, considerando sus características técnicas, ecosistémicas y metodológicas; (ii) analizar los ecosistemas y territorios marino–costeros de Chile con potencial para proyectos de carbono azul y vincularlos con las tipologías de proyectos existentes, clásicas o emergentes; y (iii) establecer las condiciones financieras necesarias para viabilizar el desarrollo de proyectos de carbono azul en el contexto chileno.

En relación al primer objetivo específico, la tesis propuso una clasificación operativa de tipologías de proyectos de carbono azul que distingue entre conservación, restauración y manejo/creación, y entre ecosistemas “clásicos” (marismas, praderas marinas y manglares) y “emergentes” (macroalgas/kelp, fiordos y otros sistemas aún en estudio). Esta clasificación no se limita a un listado de categorías, sino que integra atributos biofísicos, metodológicos y de integridad (límites del sistema, piscinas de carbono, horizontes temporales, riesgos de reversión y fugas, entre otros), y los vincula con una taxonomía mínima de instrumentos financieros climáticos y de sostenibilidad. El resultado es un puente biofísico–financiero que permite entender por qué ciertas combinaciones tipología–ecosistema son más compatibles con determinados instrumentos (por ejemplo, PSE y *trusts* en conservación, *blended finance* en restauración, pilotos concesionales en ecosistemas emergentes).

En relación con el segundo objetivo específico, la tesis adaptó el marco MEOW a las macrozonas marino–costeras de Chile, identificando la distribución de ecosistemas de carbono azul por macrozona y su estado de madurez metodológica y de capacidades. A partir de esa lectura territorial se construyó una matriz ex-ante tipología–ecosistema–macrozona–instrumento, que articula la información de la distribución de ecosistemas (Tabla 4), la matriz tipología–instrumento–condiciones habilitantes (Tabla 5) y las variables operativas

del cuadro de operacionalización (Tabla 7). Esta matriz permitió vincular explícitamente las tipologías derivadas de la literatura internacional con las realidades concretas de las macrozonas chilenas, entregando contenido territorial al análisis y evitando pensar en el carbono azul como un concepto desanclado del espacio específico donde se ubican los ecosistemas y las comunidades.

En relación con el tercer objetivo específico, la tesis propuso PMV de condiciones financieras por tipología, entendidos como combinaciones mínimas de MRV, regulación y tenencia, capacidades técnicas y de datos, gobernanza y demanda de mercado que deben alcanzarse para que determinados instrumentos financieros sean razonablemente utilizables en el contexto chileno. Estos PMV se diferenciaron según el tipo de intervención (conservación, restauración, manejo/creación) y el estado de madurez metodológica de cada ecosistema, y se tradujeron en rutas habilitantes de corto plazo ( $\leq 3$  años) y en un portafolio priorizado ex-ante que distingue entre un núcleo de corto plazo, un núcleo de pilotos estratégicos y una frontera en observación. De este modo, las condiciones financieras no se presentan como un conjunto genérico de requisitos deseables, sino como umbrales concretos que conectan la evidencia biofísica y regulatoria con decisiones de diseño financiero.

En términos de resultados, la matriz ex-ante aplicada a Chile muestra que las oportunidades de corto plazo se concentran en dos combinaciones: (i) conservación de marismas en macrozonas Norte–Centro–Sur, y (ii) manejo y protección de macroalgas/kelp en el Norte Humboldtiano, en ambos casos apoyadas en instrumentos como PSE, co-beneficios, *trusts/endowments* y, en el segundo caso, SLL/SLB con indicadores de manejo. Las combinaciones asociadas a restauración de marismas y praderas marinas, creación/restauración de macroalgas/kelp y conservación/manejo en fiordos y canales patagónicos se ubican respecto del semáforo de categorización, mayoritariamente en amarillo: no por falta de potencial climático, sino por la necesidad de cerrar brechas importantes en MRV, permisos, capacidades y gobernanza, y por la exigencia de esquemas de *blended finance* y financiamiento concesional. La tesis, por tanto, matiza el entusiasmo

general en torno al carbono azul: reconoce su relevancia como NbS, pero propone una secuencia realista donde no todos los ecosistemas ni todas las tipologías están en condiciones de transformarse de inmediato en créditos de carbono transables o en portafolios escalables.

Un aporte central de este trabajo es mostrar que no todo tiene que pasar por créditos de carbono en el corto plazo. En varios casos, especialmente en ecosistemas emergentes o donde la atribución es compleja (macroalgas/kelp en creación/restauración, fiordos), la tesis sugiere avanzar primero con instrumentos como PSE, co-beneficios, financiamiento climático no transable y pilotos de innovación, con foco en generar evidencia, fortalecer capacidades y construir arreglos de gobernanza, antes de prometer reducciones o remociones cuantificadas y comercializables. Esta lectura dialoga con los debates actuales sobre integridad ambiental y financiera y con las preocupaciones por la credibilidad de los mercados de carbono, y ubica al carbono azul chileno en una trayectoria que privilegia la seriedad y la progresividad por sobre anuncios rápidos, pero poco sustentados.

Aunque el punto de partida de la tesis fue la inquietud por los créditos de carbono azul, el recorrido analítico sugiere que la pregunta de fondo es más amplia: cómo invertir de manera seria y gradual en capital natural marino-costero. En este marco, los créditos de carbono aparecen no como un fin en sí mismo, sino como una de varias piezas posibles dentro de portafolios de inversión en naturaleza y en NbS, donde pueden combinarse instrumentos transables y no transables, financiamiento climático, recursos públicos y filantropía estructurante. Este cambio de foco ayuda a ordenar expectativas y secuencias: no todo proyecto de carbono azul debe ni puede transformarse de inmediato en créditos comercializables, pero sí puede contribuir a construir activos de capital natural, fortalecer la resiliencia costera y habilitar opciones futuras de mitigación con mayores niveles de integridad ambiental, financiera y social.

Finalmente, la tesis ofrece una contribución específica al caso chileno al integrar, en un mismo marco, tipologías de proyectos, territorialidad, condiciones habilitantes y diseño

financiero. Más que entregar un modelo único de proyecto, entrega una ruta estratégica que permite decidir dónde tiene más sentido actuar primero, con qué tipo de instrumentos, qué brechas hay que abordar y qué combinaciones deben mantenerse en modo piloto u observación. En ese sentido, el trabajo se ofrece como insumo para actores públicos y privados que estén considerando desarrollar proyectos o programas de carbono azul en Chile, y como base para futuras agendas de investigación aplicada que quieran profundizar en casos concretos, modelos financieros detallados y procesos participativos en territorios específicos.

## **5.1 Propuesta para trabajos futuros**

Los resultados y las limitaciones de esta tesis abren varias líneas de trabajo que pueden profundizar o complementar lo aquí propuesto. A modo de cierre, se sugiere lo siguiente para trabajos futuros.

### **(i) Profundizar en la base biofísica y el MRV de ecosistemas emergentes.**

Una evidente primera línea es avanzar en estudios biofísicos y metodológicos sobre macroalgas/kelp, fiordos y otros ecosistemas emergentes, con énfasis en tasas de secuestro, destino de exportes de carbono (DOC/POC), tiempos de residencia y riesgos de reversión. Esto incluye tanto trabajo de campo como modelación y desarrollo de protocolos de MRV adaptados a las realidades locales. Los resultados de este tipo de investigación permitirían refinar la matriz ex-ante, reducir la incertidumbre hoy reflejada en el semáforo amarillo y, eventualmente, habilitar nuevos tipos de proyectos e instrumentos financieros.

### **(ii) Estudios de caso y pilotos en territorios específicos.**

La tesis se basa en un enfoque ex-ante y de escala nacional. Un siguiente paso natural es desarrollar estudios de caso y proyectos piloto en sitios concretos de marismas, praderas marinas, macroalgas y fiordos, que permitan contrastar las condiciones habilitantes propuestas con la experiencia real de diseño, implementación y monitoreo de proyectos. Estos estudios podrían abordar, por ejemplo, la co-construcción de indicadores, cómo

cambian los costos a lo largo del proyecto, las dinámicas de participación local y los procesos de toma de decisión sobre distribución de beneficios. La información generada serviría para ajustar los PMV, validar o corregir la priorización del portafolio y alimentar futuras revisiones de políticas públicas.

### **(iii) Modelación financiera y diseño detallado de instrumentos.**

Otra línea pendiente es la modelación financiera detallada de algunos casos representativos, incluyendo flujos de caja, análisis de sensibilidad y estructuras contractuales para PSE, *trusts*, *blended finance*, SLL/SLB, bonos azules o canjes de deuda–naturaleza. Esta tesis agrupó los instrumentos financieros en tipos y definió las condiciones mínimas, pero no entró en ingeniería financiera específica. Trabajos futuros podrían, por ejemplo, construir modelos para un proyecto de restauración de marismas en una cuenca piloto o para un programa de manejo de macroalgas en el Norte, explorando distintas combinaciones de fuentes, niveles de concesionalidad, estructura de garantías y mecanismos de reparto de beneficios.

### **(iv) Gobernanza, justicia climática y dimensión sociopolítica.**

Si bien la gobernanza y el reparto de beneficios se incorporaron como variables habilitantes en la matriz, la tesis no desarrolló un análisis profundo de conflictos, asimetrías de poder, percepciones locales o justicia climática vinculados a proyectos de carbono azul. Futuros trabajos podrían abordar estos temas desde metodologías cualitativas y participativas, examinando cómo se perciben estos proyectos en comunidades costeras, pescadores artesanales y otros actores locales; qué tensiones emergen entre agendas globales de mitigación y prioridades territoriales; y cómo deben diseñarse los mecanismos de *benefit-sharing* para ser realmente justos y legítimos. Este tipo de análisis es crucial para que los proyectos de carbono azul no se limiten a ser técnicamente robustos, sino también socialmente sostenibles.

### **(v) Integración con marcos de política climática y sectorial.**

Finalmente, existe espacio para profundizar en la integración del carbono azul con la política climática y sectorial chilena, incluyendo la actualización de la NDC, la implementación del

artículo 6 del Acuerdo de París, la regulación de mercados de carbono y las políticas de sectores como pesca, acuicultura, infraestructura costera y conservación marina. Trabajos futuros podrían explorar, por ejemplo, escenarios de articulación entre proyectos de carbono azul y estrategias de descarbonización de sectores intensivos en emisiones; el rol potencial de fondos soberanos o bancos de desarrollo; o el diseño de marcos regulatorios específicos para proyectos de carbono azul que aborden de manera explícita la doble contabilidad, la coordinación interinstitucional y los incentivos a la inversión público-privada.

#### **(vi) Marcos de inversión en capital natural y portafolios integrados.**

A partir de la ruta estratégica y del portafolio ex-ante propuesto, un siguiente paso razonable es avanzar hacia marcos de inversión en capital natural marino-costero que integren los proyectos de carbono azul como una pieza más dentro de portafolios de NbS. Esto implica explorar cómo combinar instrumentos transables (créditos de carbono) con mecanismos no transables (PSE, *trusts/endowments* territoriales, fondos públicos y filantropía estructurante), incorporar métricas de riesgo y retorno que incluyan biodiversidad y resiliencia, y dialogar con iniciativas emergentes de contabilidad de capital natural. Este enfoque permite traducir la ruta estratégica de la tesis en programas de inversión más sistémicos, donde el carbono azul se entienda como parte de una estrategia de país para invertir en su patrimonio marino-costero, más que como un nicho aislado de mercado.

En resumen, esta tesis no pretende ofrecer una respuesta cerrada sobre “cómo hacer carbono azul en Chile”, sino más bien, una base estructurada para orientar las preguntas que vienen. A partir de aquí, el desafío pasa por traducir la ruta estratégica, los PMV y el portafolio priorizado en procesos concretos: pilotos en territorio, acuerdos institucionales, instrumentos financieros probados en la práctica y espacios de diálogo donde la integridad ambiental y financiera conviva con la integridad social y territorial. Esa agenda, necesariamente colectiva, es donde el carbono azul puede pasar de promesa a contribución real a la acción climática del país.

## 6 REFERENCIAS

AGEDI. (2014). *Building blue carbon projects: An introductory guide*. AGEDI/EAD. Publicado por AGEDI y producido por GRID-Arendal, un centro colaborador del PNUMA, Noruega. <https://www.oceanfdn.org/sites/default/files/ADGEI.pdf>

American Carbon Registry. (2023). *Wetland Restoration and Conservation Methodology Framework (Version 2.0)*. [https://acrcarbon.org/wp-content/uploads/2023/03/WR-MF-WL\\_v2-0.pdf](https://acrcarbon.org/wp-content/uploads/2023/03/WR-MF-WL_v2-0.pdf)

Anglo American Chile. (2024). *Informe ASG 2024 de Anglo American*. Anglo American Chile. [https://chile.angloamerican.com/~/\\_media/Files/A/Anglo-American-Group-v9/Chile/medios/reportes/informe-asg-2024-de-anglo-american.pdf](https://chile.angloamerican.com/~/_media/Files/A/Anglo-American-Group-v9/Chile/medios/reportes/informe-asg-2024-de-anglo-american.pdf)

Ávila, M., Merino, C., Guissen, K., & Piel, M. I. (2010). *Manual de cultivo de macroalgas pardas: Desde el laboratorio al océano*. Universidad Arturo Prat. [https://sembrandoelmar.cl/web/wp-content/uploads/2021/02/manual\\_cultivo\\_pardas\\_UArturo\\_Prat.pdf](https://sembrandoelmar.cl/web/wp-content/uploads/2021/02/manual_cultivo_pardas_UArturo_Prat.pdf)

Ballester, B., & Navarro-Harris, X. (2023). *Arqueologías oceánicas, costeras e insulares*. Revista CUHSO, 33(1), 11–16. <https://doi.org/10.7770/CUHSO-V33N1-ART634>

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>

Burdige, D. J. (2005). *Burial of terrestrial organic matter in marine sediments: A re-assessment*. Global Biogeochemical Cycles. [https://digitalcommons.odu.edu/oeas\\_fac\\_pubs/81/](https://digitalcommons.odu.edu/oeas_fac_pubs/81/)

Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R. and Lynch, J. C. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils. *Global Biogeochem Cycles*, 17, 1111. [doi:10.1029/2002GB001917](https://doi.org/10.1029/2002GB001917)

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.). (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>

Corbera, E., Estrada, M., & Brown, K. (2009). How do regulated and voluntary carbon-offset schemes compare? *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 6(1), 25–50. <https://doi.org/10.1080/15693430802703958>

Duarte de Paula Costa, M., Macreadie, P.I. *The Evolution of Blue Carbon Science*. *Wetlands* 42, 109 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01628-5>

El Mostrador. (2025, 22 de octubre). *Invertir en naturaleza: la rentabilidad de conservar la biodiversidad*. <https://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/columnas/2025/10/22/invertir-en-naturaleza-la-rentabilidad-de-conservar-la-biodiversidad/>

Emmer, I., Needelman, B., Emmett-Mattox, S., Crooks, S., Megonigal, P., Myers, D., ... & Shoch, D. (2014). *Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration* (VCS Version 3, v3.3; Version 20140722). Restore America's Estuaries / Verified Carbon Standard. <https://estuaries.org/wp-content/uploads/2019/01/Methodology-for-Tidal-Wetland-and-Seagrass-Restoration.pdf>

FinDev Lab. (2024, June). *Policy note: Debt-to-Sustainability Swaps (D2S)*. [https://findevlab.org/wp-content/uploads/2024/07/FDL\\_Policy-Note\\_D2S\\_June-2024.pdf](https://findevlab.org/wp-content/uploads/2024/07/FDL_Policy-Note_D2S_June-2024.pdf)

Formuli, F., Mazza, F., Medeleanu, M., Tyliniski Sant'Ana, T., & Wong, J. (2023, October). *A virtuous cycle: Mangrove conservation and blue carbon initiatives in coastal Kenya*. The Reach Alliance, Munk School of Global Affairs & Public Policy, University of Toronto. [https://reachalliance.org/wp-content/uploads/2022/09/Kenya-CaseStudy-FINAL\\_REPORT.pdf](https://reachalliance.org/wp-content/uploads/2022/09/Kenya-CaseStudy-FINAL_REPORT.pdf)

Fundación Chile. (s. f.). *Iniciativa Carbono Azul*. Fundación Chile.  
<https://fch.cl/iniciativa/carbono-azul/>

GHG Protocol. (2024, agosto 7). *IPCC Global Warming Potential Values: Version 2.0* (Actualizado con valores AR6). <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>

Gold Standard. (2024). *Step-by-step certification process*. Gold Standard.  
<https://globalgoals.goldstandard.org/standards/Step-by-step-certification-process-Dec24.pdf>

Green, C., Lovelock, C. E., Sasmito, S., Hagger, V., & Crooks, S. (2021). *Coastal Wetlands in National Greenhouse Gas Inventories: Advice on reporting emissions and removals from management of Blue Carbon ecosystems*. Blue Carbon Partnership.  
<https://bluecarbonpartnership.org/wp-content/uploads/2021/11/Coastal-Wetlands-in-National-Greenhouse-Gas-Inventories.pdf>

Greiber, T. (Ed.). (2009). *Payments for ecosystem services: Legal and institutional frameworks* (IUCN Environmental Policy and Law Paper No. 78). International Union for Conservation of Nature (IUCN).  
<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/EPLP-078.pdf>

Greiner JT, McGlathery KJ, Gunnell J, McKee BA (2013). Seagrass Restoration Enhances “Blue Carbon” Sequestration in Coastal Waters. *PLOS ONE* 8(8): e72469.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072469>

Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., ... & Fargione, J. (2017). Natural climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(44), 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>

Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1985). *Paradigmas en competencia en la investigación cualitativa* [Versión traducida no oficial del capítulo 6 de *Naturalistic Inquiry*].

[https://banner9.icesi.edu.co/ic\\_contenidos\\_pdf/adjuntos/202310/202310\\_11266\\_16\\_092.pdf](https://banner9.icesi.edu.co/ic_contenidos_pdf/adjuntos/202310/202310_11266_16_092.pdf)

Hedges & Keil (1995). *Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis*. Documento en PDF: <https://depts.washington.edu/aog/pubs/hedges-keil-the-tome.pdf>  
[depts.washington.edu](https://depts.washington.edu)

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) (2014). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA. [https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf\\_files/Books/BMurdiyarso1401.pdf](https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/Books/BMurdiyarso1401.pdf)

ICVCM. (2024). *Core Carbon Principles (Part 2, Version 2)*. <https://icvcm.org/wp-content/uploads/2024/02/CCP-Section-2-V2-FINAL-6Feb24.pdf>

ICVCM. (2024). *Assessment Framework (Part 4, Version 2)*. <https://icvcm.org/wp-content/uploads/2024/02/CCP-Section-4-V2-FINAL-6Feb24.pdf>

International Capital Market Association. (2023). *Bonds to finance the sustainable blue economy: A practitioner's guide*. <https://www.icmagroup.org/assets/documents/Sustainable-finance/Bonds-to-Finance-the-Sustainable-Blue-Economy-a-Practitioners-Guide-September-2023.pdf>

International Civil Aviation Organization. (2024). *ICAO strategic plan 2026–2050*. ICAO. <https://www.icao.int/sites/default/files/2025-02/ICAO-Strategic-Plan-2026-2050-V2.pdf>

International Finance Corporation. (2025). *Guidance for blue finance (Version 2.0)*. <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/2025/guidance-for-blue-finance-v2-0.pdf>

International Partnership for the Satoyama Initiative. (2011, June 16). *Abrolhos seascape, a field demonstration model*. IPSI. [https://satoyamainitiative.org/case\\_studies/abrolhos-seascape-a-field-demonstration-model/](https://satoyamainitiative.org/case_studies/abrolhos-seascape-a-field-demonstration-model/)

IPCC. (2013). *2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands* (Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Jamsranjav, B., Fukuda, M., & Troxler, T. G., Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/wetlands/>

IPCC. (2018). *Glosario del Informe Especial sobre el Calentamiento Global de 1,5°C (SR15)*. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)

IPCC. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* (Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., ... & Weyer, N. M., Eds.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157964>

IPCC. (2022). Annex I: Glossary [van Diemen, R., J.B.R. Matthews, V. Möller, J.S. Fuglestvedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, A. Reisinger, S. Semenov (eds)]. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, ... & J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: [10.1017/9781009157926.020](https://doi.org/10.1017/9781009157926.020)

IPCC. (2022). *Annex II: Glossary*. In Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/annex-ii/>

James, R. K., Howard, J., Costanza, R., Kelleway, J. J., Lavery, P. S., Duarte, C. M., & Macreadie, P. I. (2024). *It's time to broaden what we consider a 'blue carbon ecosystem'*. *Science of The Total Environment*, 910, 168963. <https://doi.org/10.1111/gcb.17261>

Kent, F., Lilley, R., Unsworth, R., Cunningham, S., Begg, T., Boulcott, P., ... & Michelotti, M. (2021). *Seagrass restoration in Scotland: Handbook and guidance (NatureScot Research Report 1286)*. NatureScot. <https://www.nature.scot/doc/naturescot-research-report-1286-seagrass-restoration-scotland-handbook-and-guidance>

Krause-Jensen, D., & Duarte, C.M. (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nature Geoscience*, 9, 737–742. <https://doi-org.udd.idm.oclc.org/10.1038/ngeo2790>

Lilley, R. (2024). *Pioneering Large Scale Seagrass Restoration Across Europe*. UN Decade on Ecosystem Restoration. <https://www.decadeonrestoration.org/pioneering-large-scale-seagrass-restoration-across-europe> UN Decade on Restoration

Mackey, B., Keith, H., Berry, S., & Lindenmayer, D. (2008). *Green carbon: The role of natural forests in carbon storage (Part 1)*. <https://ger.org.au/wp-content/uploads/2020/05/Mackey-et-al-2008-Green-Carbon-The-Role-of-Natural-Forests-in-Carbon-Storage.pdf>

Macreadie, P.I., Anton, A., Raven, J.A. (2019). *The future of Blue Carbon science*. *Nature Communication*, 10, 3998. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11693-w>

Macreadie, P. I., Robertson, A. I., Spinks, B., Adams, M. P., Atchison, J. M., Bell-James, J., ...& Rogers, K. (2022). Operationalizing marketable blue carbon. *One Earth*, 5(5), 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.005>

Mark D. Spalding, Helen E. Fox, Gerald R. Allen, Nik Davidson, Zach A. Ferdaña, Max Finlayson, ... & James Robertson "Marine Ecoregions of the World: A Bioregionalization of Coastal and Shelf Areas," *BioScience*, 57(7), 573-583, (1 July 2007)

<https://bioone.org/journals/bioscience/volume-57/issue-7/B570707/Marine-Ecoregions-of-the-World--A-Bioregionalization-of-Coastal/10.1641/B570707.full>

Menéndez, P., Losada, I. J., Torres-Ortega, S., Narayan, S., & Beck, M. W. (2020). The global flood protection benefits of mangroves. *Scientific Reports*, *10*, 4404. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61136-6>

Ministerio del Medio Ambiente de Chile & Banco Mundial. (2020). *Propuesta de hoja de ruta para el carbono azul en Chile*. Naciones Unidas Chile. <https://chile.un.org/sites/default/files/2020-11/Propuesta-de-Hoja-de-Ruta-para-el-Carbono-Azul-en-Chile.pdf>

Penn State Extension. (2023). *Forest carbon market structures and mechanisms*. The Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/forest-carbon-market-structures-and-mechanisms>

Rehbein, J. A., Barbosa, J., Encalada, G., & Prince, B. (2020). *Evaluación bibliográfica del potencial de mitigación y adaptación al cambio climático de los ecosistemas marinos: Chile*. The World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/639801592984216703/pdf/Evaluacion-bibliografica-del-potencial-de-mitigacion-y-adaptacion-al-cambio-clim%C3%A1tico-de-los-ecosistemas-marinos.pdf>

Rovira, J., & Herreros, J. (2016). *Clasificación de ecosistemas marinos chilenos de la zona económica exclusiva*. Ministerio del Medio Ambiente. <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Clasificacion-ecosistemas-marinos-de-Chile.pdf>

Sánchez-Arcilla, A., Cáceres, I., Le Roux, X., Hinkel, J., Schuerch, M., Nicholls, R., ... & Torresan, S. (2022). *Barriers and enablers for upscaling coastal restoration*. *Nature-Based Solutions*, *2*, 2022, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100032>

Selamoglu, M. (2021). Blue Economy and Blue Ocean Strategy. *Journal of Ecology & Natural Resources*, 5(4), 000263. <https://doi.org/10.23880/jenr-16000263>

Sheehy, J., Porter, J., Bell, M., & Kerr, S. (2024). *Redefining blue carbon with adaptive valuation for global policy*. *Science of the Total Environment*, 908, 168253. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168253>

Shockley, J. and J. Muller. (2023, August 7). "Carbon Market Basics." Department of Agricultural Economics, University of Kentucky. [https://agecon.ca.uky.edu/fles/carbon\\_market\\_basics.pdf](https://agecon.ca.uky.edu/fles/carbon_market_basics.pdf)

Suresh, A., Wartman, M., Rasheed, A. R., & Macreadie, P. I. (2025). *Tourism and recreation in blue carbon ecosystems: Exploring synergies, trade-offs and pathways to sustainability*. *Ocean & Coastal Management*, 266, 107697. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.107697>

Taillardat P, Friess DA, Lupascu M. (2018) Mangrove blue carbon strategies for climate change mitigation are most effective at the national scale. *Biol. Lett.* 14: 20180251. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2018.0251>

The Gold Standard Foundation. (2022). Claims guidelines (Version 2.0). [https://globalgoals.goldstandard.org/standards/105\\_V2.0\\_PAR\\_Claims-Guidelines.pdf](https://globalgoals.goldstandard.org/standards/105_V2.0_PAR_Claims-Guidelines.pdf)

Third Way. (2024, mayo 17). *Una guía explicativa sobre la remoción de dióxido de carbono* (R. V. Kapila, N. Yoon, & A. Assim, autores; O. Sherman, ilustradora). Third Way. <https://www.thirdway.org/memo/una-guia-explicativa-sobre-la-remocion-de-dioxido-de-carbono>

United Nations Environment Programme Finance Initiative. (2021). *Turning the tide: How to finance a sustainable ocean recovery*. [https://medblueeconomyplatform.org/wp-content/uploads/2021/03/2021\\_turning-the-tide-guidance\\_un-environment-programme.pdf](https://medblueeconomyplatform.org/wp-content/uploads/2021/03/2021_turning-the-tide-guidance_un-environment-programme.pdf)

United Nations Environment Programme Finance Initiative. (2023). *Primer 2: Marine and coastal ecosystems*. UNEP FI. <https://www.unepfi.org/wordpress/wp-content/uploads/2023/06/Primer-2-Marine-coastal-ecosystems.pdf>

United Nations Framework Convention on Climate Change. (s. f.). Glossary of climate change acronyms and terms. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronyms-and-terms>

Vanderklift MA, Herr D, Lovelock CE, Murdiyarso D, Raw JL and Steven ADL (2022) *A Guide to International Climate Mitigation Policy and Finance Frameworks Relevant to the Protection and Restoration of Blue Carbon Ecosystems*. *Front. Mar. Sci.* 9:872064. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.872064>

Verra. (2023). *VM0033: Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration (Version 2.1)*. <https://verra.org/wp-content/uploads/2023/09/VM0033-Methodology-for-Tidal-Wetland-and-Seagrass-Restoration-v2.1.pdf>

Verra. (2024, 3 de mayo). *AFOLU Non-Permanence Risk Tool (v4.2)*. <https://verra.org/wp-content/uploads/2023/10/AFOLU-Non-Permanence-Risk-Tool-v4.2-last-updated-May-3-2024.pdf>

World Bank. (2024). *State and trends of carbon pricing 2024*. World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099081624122529330/pdf/P50228315fd8d1050186341ea02e1c107bc.pdf>

World Resources Institute, & World Business Council for Sustainable Development. (2005). *The GHG Protocol for Project Accounting*. Greenhouse Gas Protocol Initiative. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg\\_project\\_accounting.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg_project_accounting.pdf)

Yuan, Z., Wang, Y., Xu, J. *et al.* (2021). Efectos de los factores climáticos en la productividad primaria neta en la región de origen del río Yangtsé, China. *Sci Rep* 11 , 1376. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80494-9>

Zaid, M., Ricky, R., & Rakotoarisoa, M. H. S. (2025). *Blue carbon regulation and implementation: Lessons for Indonesia*. *Journal of Law, Environment and Justice*, 3(1), 1–14. <https://doi.org/10.62264/jlej.v3i1.117>

## 7 ANEXOS:

### 7.1 Tablas multicriterio para determinar el enfoque de la tesis

**Tabla 9.**

*Criterio y puntaje asociado*

<i>Criterio / Puntaje</i>		<i>2</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
Madurez metodológica MRV	Qué tan “listo” está para contabilidad	IPCC / Estándar	En estudio  (Hay literatura y protocolos/ensayos de MRV - campañas, pilotos, guías en borrador-, pero sin método oficial IPCC ni estándar ampliamente usado)	Incipiente  (Evidencia fragmentaria o localizada; sin protocolos consistentes, métricas comparables o trazabilidad de manejo; conocimiento pre-normativo)
Relevancia Territorial	Escala y alineamiento con territorio nacional	Presente	Puntual	Marginal

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.***Enfoque de la tesis: Bajo entre 0-1 / Medio: 2 / Alto entre 3-4*

Clasificación	Ecosistema	Madurez metodológica MRV	Relevancia territorial	Enfoque de la tesis
CLÁSICO	Manglares	2	0	2
CLÁSICO	Marismas	2	2	4
CLÁSICO	Praderas marinas	2	1	3
EMERGENTE	Macroalgas/kelp (silvestres y cultivo)	1	2	3
EMERGENTE	Planos de Lodo ( <i>Mud Flats</i> )	0	1	1
EMERGENTE	Fiordos	1	1	2
EMERGENTE	Lecho de algas coralinas ( <i>coralline algal beds</i> )	0	1	1
EMERGENTE	Arrecifes de coral ( <i>coral reef system</i> )	0	1	1
EMERGENTE	Arrecifes de ostras y otros bivalvos ( <i>shellfish reefs</i> )	0	1	1
EMERGENTE	Sedimentos costeros y plataforma somera	1	2	3
EMERGENTE	Polar blue carbon (bentos antárticos/subantárticos)	0	1	1
EMERGENTE	Planicies hipersalinas (sabkhas o salt flats)	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

## 7.2 Detalle de ecosistemas emergentes

**Macroalgas y kelp:** Entre los más estudiados se encuentran las macroalgas y kelp, cuya alta productividad primaria y capacidad de exportar detritos hacia zonas profundas y anóxicas sugieren un rol relevante como sumideros de carbono. Pese a que existe riesgo de remineralización antes del enterramiento, el cultivo de kelp aparece como una vía con potencial para proyectos de carbono azul (Krause-Jensen & Duarte, 2016).

Según Krause-Jensen & Duarte (2016), las macroalgas actúan como donantes de carbono para reservorios de sumidero ubicados en otros lugares, principalmente en el océano profundo y los sedimentos marinos. Son productores primarios dominantes en la zona costera y las macrófitas marinas más productivas a escala global. Su producción primaria neta global (PPN) que corresponde a la cantidad neta de carbono absorbido por las plantas a través de la fotosíntesis, y es igual a la diferencia entre el carbono asimilado durante la fotosíntesis y el liberado durante la respiración de la planta (Yuan et al., 2021) es de 1,521 gigatoneladas de carbono por año (TgC/año), con un rango de 1,020–1,960 TgC/año, sobre un área estimada de 3,5 millones de km<sup>2</sup>. Se estima que las macroalgas pueden secuestrar globalmente unos 173 TgC/año, con un rango de 61–268 TgC por año, superando la del carbono enterrado en ecosistemas clásicos, que se estima en 111–131 TgC/año.

El secuestro ocurre a través de dos modos principales de carbono exportado:

- a) Entierro Directo en Sedimentos Costeros. En promedio, cerca del 0,4% de la PPN de macroalgas que crecen en sedimentos blandos es enterrada directamente en el hábitat. Esto representa un promedio de 6,2 TgC/año a nivel global.
- b) Exportación al Océano Profundo. Este es el mecanismo más importante para el secuestro de carbono de las macroalgas siendo casi el 90% del total. La exportación ocurre como POC o DOC.

Del POC, se estima que el 11% exportado (35 TgC/año) alcanza el mar profundo. Esto incluye a Kelp y Algas Pardas (observaciones en el fondo marino profundo están dominadas por

algas pardas, con informes abundantes de kelp en zonas templadas y polares), y conducción por cañones submarinos (material macroalgal incluyendo kelp, es transportado a través de cañones submarinos que actúan como conductos importantes desde la plataforma continental al mar profundo). Y se estima que el 52% del total exportado (355 TgC/año) es en forma de DOC donde se asume que el 33% de este flujo (117 TgC/año) se exporta por debajo de la capa mezclada, llegando potencialmente al mar profundo.

El kelp, junto con las algas pardas como *Sargassum* y *Desmarestiales*, tiene características que facilitan su transporte a larga distancia hacia el mar profundo como desprendimiento continuo, burbujas de gas (*pneumatocysts*), mecanismos de hundimiento (como la circulación de Langmuir, lastre de piedras, crecimiento de organismos calcificadores en la superficie de macroalgas), y refractariedad.

Asimismo, se sugiere que el secuestro de carbono de las macroalgas sea monitoreado y que deben ser consideradas tanto en los informes de contabilidad de carbono como en las estrategias de conservación y restauración de carbono azul para mitigar el cambio climático. Es importante destacar que el cambio climático provocará la pérdida de los bosques de kelp cerca de su límite de distribución sur, pero podría favorecer su expansión hacia el Ártico.

En la costa norte de Chile, las macroalgas pardas del género *Lessonia* (huiro negro y huiro palo) y *Macrocystis pyrifera* forman huirales intermareales y submareales que dominan la biomasa bentónica y actúan como especies bioingenieras. Estos bosques de macroalgas proporcionan hábitat y refugio para una alta diversidad de invertebrados y peces costeros, además de sostener cadenas productivas locales ligadas a la pesquería y al cultivo de algas pardas. En la región de Tarapacá se han desarrollado programas de manejo, cultivo y repoblamiento desde hatcheries hasta el mar, en articulación con pescadores artesanales, que muestran capacidades técnicas instaladas para este tipo de intervenciones (Ávila et al., 2010).

**Planos de lodo y Fiordos:** Por su parte, tanto los planos de lodo como los fiordos funcionan como reservorios al enterrar carbono orgánico en sus sedimentos, aunque enfrentan limitaciones asociadas a la falta de metodologías robustas de balance de GEI y a la necesidad de mayor comprensión sobre su adicionalidad (James et al., 2024).

Tal como propusieron James et al. (2024), hay evidencia creciente de que los planos de lodo y fiordos entierran cantidades de carbono comparables a los ecosistemas clásicos como pastos marinos o manglares. Dentro de sus características físicas clave se encuentran: que son sistemas caracterizados por altas tasas de deposición que los convierten en receptores y almacenes clave de carbono orgánico alóctono (carbono suministrado desde otros sistemas, como la tierra), y que a menudo tienen bajas tasas de remineralización, lo que ayuda a la preservación del carbono orgánico y facilita el almacenamiento a largo plazo. En cuanto a las características que promueven el entierro de carbono, basados en datos cuantitativos, muestran que una parte significativa del carbono orgánico enterrado proviene de fuentes terrestres, en una magnitud mayor a la esperada originalmente. Estos sistemas presentan además tasas de acumulación de sedimentos superiores a cero y evidencian un balance entre la captura y la liberación de carbono que se inclina notablemente hacia la retención, con una relación más alta de la que se observaría si se tratara simplemente de un equilibrio neutro o de fuentes netas de carbono. En consecuencia, se promueven como un almacén importante de carbono azul.

En particular los fiordos, son estuarios glaciares profundos y estrechos ubicados en latitudes altas que actúan como *hotspots* de entierro de carbono debido a sus altas tasas de sedimentación, baja oxigenación y morfología que atrapa material orgánico terrígeno. Aunque su superficie es mucho menor respecto del océano en general ( $\approx 0,46$  millones  $\text{km}^2$ ), se estima que entierran anualmente  $\sim 18$  millones de toneladas de carbono (millones de tC), 11% del entierro global marino, con tasas de entierro por unidad de área hasta 100 veces superiores al promedio oceánico (Smith et al., 2015).

**Lechos de algas coralinas:** Otros ecosistemas relevantes son los lechos de algas coralinas, organismos calcificadores que, pese a liberar CO<sub>2</sub> durante el proceso de calcificación, pueden compensar parcialmente dicho efecto al favorecer la retención de carbono orgánico en sedimentos adyacentes, además del almacenamiento de carbono inorgánico a largo plazo (James et al., 2024).

De acuerdo a James et al. (2024) estos sistemas deben incluirse en las estrategias de NbS, como almacén de carbono azul, dado que cumple con la mayoría de las características promotoras del secuestro de carbono.

- a) Balance entre captación y liberación de carbono: Los lechos de algas coralinas exhiben un metabolismo ecosistémico caracterizado por la interacción entre procesos fotosintéticos y de calcificación. Si bien la calcificación implica liberación de carbono inorgánico, la evidencia empírica indica que la captación neta resulta superior, con tasas de inmovilización aproximadamente el doble de las emisiones asociadas. Cuando hay poco carbonato disponible en el agua, los arrecifes pueden seguir capturando más carbono del que liberan, porque las algas producen mucho a través de la fotosíntesis y además parte del carbonato se disuelve, lo que ayuda a absorber CO<sub>2</sub>.
- b) Dinámicas de acumulación de sedimentos y aporte terrígeno: Los lechos de algas coralinas ayudan a atrapar partículas del mar y de la tierra, lo que aumenta la acumulación de sedimentos y el almacenamiento de carbono. Los estudios muestran que entierran más carbono del que se esperaba, incluyendo una importante cantidad proveniente de tierra firme, lo que confirma que actúan como sumideros tanto de carbono marino como terrestre.

La evaluación integrada de sus atributos biofísicos demuestra que los lechos de algas coralinas presentan un conjunto robusto de características que favorecen el almacenamiento de carbono orgánico. En general, se respalda su reconocimiento como ecosistemas emergentes de carbono azul, con capacidad de contribuir de manera significativa a la mitigación del cambio climático.

**Arrecifes de coral:** De manera similar, los arrecifes de coral han sido objeto de debate, dado que si bien sus procesos de calcificación y respiración pueden liberar carbono, su alta capacidad de acumulación de sedimentos carbonatados representa un reservorio significativo de carbono inorgánico en escalas geológicas (James et al., 2024).

James et al. (2024) se enfoca en ciertos componentes del sistema de arrecifes, específicamente en las lagunas, que demuestran una fuerte capacidad para secuestrar carbono.

- a) Balance de carbono: El balance de carbono en los arrecifes de coral depende de la interacción entre la fotosíntesis y la calcificación, tanto a nivel de organismos individuales como de comunidades. Aunque la calcificación libera carbono, la evidencia cuantitativa muestra que los arrecifes, junto con planos de lodo y sedimentos no consolidados, mantienen razones de captación superiores a lo esperado en un escenario de equilibrio. En arrecifes con muchas macroalgas, la fotosíntesis puede equilibrar las pérdidas de carbono por calcificación, y además los corales aportan materia orgánica que termina almacenándose en los sedimentos.
- b) Dinámicas sedimentarias y almacenamiento de carbono: Los sedimentos de lagunas arrecifales constituyen el principal componente de captura y almacenamiento de carbono en estos ecosistemas. Estudios cuantitativos confirman tasas de acumulación deposicional significativamente positivas, lo que evidencia su rol en el entierro de carbono. La procedencia de estos sedimentos es diversa, hasta un 85% puede derivarse de peces herbívoros que consumen corales, cerca de un 30% de foraminíferos y hasta un 65% de algas calcáreas (como *Halimeda*), cada una aportando de forma diferenciada al balance de carbono.

La evaluación de los arrecifes bajo marcos de carbono azul revela que ciertos componentes, como las lagunas, ayudan a enterrar carbono orgánico, pero el balance es complejo porque la calcificación también libera CO<sub>2</sub>. Aunque los arrecifes guardan mucho carbono inorgánico

en sus estructuras, su aporte como almacenes de carbono orgánico depende de cuánto logren compensar esas emisiones.

**Arrecifes de ostras y otros bivalvos:** La literatura también destaca a los arrecifes de ostras y otros bivalvos, cuyo papel en el ciclo del carbono proviene de la deposición de biodepositos y de la acumulación de conchas de carbonato, aunque con un balance neto aún incierto (Fodrie et al., 2017).

A diferencia de los ecosistemas clásicos, como marismas y manglares, la calcificación de la concha de bivalvos libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En ese sentido, el rol del arrecife depende del balance relativo entre el entierro de carbono inorgánico (fuente de CO<sub>2</sub>) y la deposición rápida de carbono orgánico (sumidero de CO<sub>2</sub>). Fodrie et al. (2017), proporciona un marco para contabilizar el doble entierro de carbono inorgánico, derivado de la concha, y carbono orgánico, derivado de la filtración para lo cual asume una liberación de 0,6 mol de CO<sub>2</sub> por cada 1 mol de carbono inorgánico fijado en la concha. Luego, basado en el muestreo de 19 arrecifes experimentales y 3 arrecifes naturales/relictos en Carolina del Norte se obtuvieron los siguientes datos.

**Tabla 11.**

*Características del carbono en función del entorno del arrecife*

<i>Entorno del arrecife</i>	<i>Rol neto en el flujo de CO<sub>2</sub></i>	<i>Tasa de flujo neto de CO<sub>2</sub> [Mg C / ha año]</i>	<i>Características del carbono</i>
Plano de arena intermareal (Intertidal sandflat)	Fuente	7,1 ± 1,2	Dominado por carbono inorgánico. Es seis veces más abundante (86% del C total) que el carbono orgánico (14%)
Plano de arena submareal (Shallow subtidal)	Sumidero	-1,0 ± 0,4	Dominado por carbono orgánico. Es aprox. el doble (68% del C total) que el carbono inorgánico (32%)

<i>Entorno del arrecife</i>	<i>Rol neto en el flujo de CO<sub>2</sub></i>	<i>Tasa de flujo neto de CO<sub>2</sub> [Mg C / ha año]</i>	<i>Características del carbono</i>
Borde de marisma salina (Saltmarsh-fringing)	Sumidero	-1,3 ± 0,4	Dominado por carbono orgánico. Es aprox. el doble (68% del C total) que el carbono inorgánico (32%)

Fuente: Elaboración propia a partir de Fodrie et al. (2017)

Los resultados demuestran que la función de mitigación climática de los arrecifes de ostras, si actúan como fuentes o sumideros netos de CO<sub>2</sub>, depende significativamente de su ubicación en el paisaje costero.

**Sedimentos costeros y plataforma somera:** Los sedimentos costeros y la plataforma somera son reconocidos como grandes depósitos de carbono orgánico autóctono y alóctono, aunque su atribución es difícil y la adicionalidad baja debido a la escala de los procesos involucrados (Smith et al., 2015).

Estos ecosistemas corresponden a los depósitos que se acumulan en áreas de plataforma continental, generalmente a menos de 200 m de profundidad, que abarcan desde márgenes continentales no deltaicos hasta llanuras sedimentarias cercanas a la costa, son responsables de aproximadamente el 85% del entierro global de carbono orgánico marino (Hedges & Keil, 1995; Burdige, 2005). La eficiencia de este proceso está determinada por factores como la tasa de sedimentación, el tipo de partículas y la preservación bajo condiciones de bajo oxígeno, que reducen la remineralización del carbono. Su amplia distribución geográfica y su rol en la estabilización del ciclo del carbono lo posicionan como un sumidero crítico en escalas de tiempo geológicas y actuales.

**Polar blue carbon:** En latitudes extremas, el denominado Polar blue carbon ha cobrado relevancia por el potencial de las comunidades bentónicas antárticas y subantárticas de secuestrar carbono. El retroceso del hielo marino y glaciario está ampliando áreas de colonización para macroalgas y fauna bentónica, lo que incrementa los flujos de carbono

hacia el sedimento marino y genera un sumidero emergente con impacto global (Morley et al., 2022; Sands et al., 2023).

El carbono azul en ecosistemas polares, particularmente en la Antártida, se está consolidando como un mecanismo emergente de mitigación climática con relevancia global. La evidencia reciente muestra que el bento antártico en aguas someras constituye un sumidero de carbono "globalmente significativo". En la Península Antártica, las comunidades bentónicas almacenan aproximadamente 253.000 tC a profundidades de 20 m, con tasas de secuestro de 17,5 tC/km<sup>2</sup>año en sustratos duros y 4,1 tC/km<sup>2</sup>año en sustratos blandos. Además, se proyecta que la pérdida de hielo marino estacional podría duplicar con creces el potencial de almacenamiento de carbono en la región (Morley et al., 2022). Estos hallazgos evidencian la estrecha relación entre biodiversidad funcional y capacidad de almacenamiento, ya que comunidades con mayor diversidad trófica presentan *stocks* más altos de carbono.

El retroceso de glaciares y la pérdida de plataformas de hielo están generando nuevos hábitats bentónicos, lo que amplía las oportunidades de colonización y, en consecuencia, la captura y almacenamiento de carbono. Estudios en fiordos antárticos han demostrado que el carbono orgánico total en los sedimentos (~50 gC/m<sup>2</sup>) es hasta un orden de magnitud mayor que estimaciones previas basadas solo en epifauna bentónica (Zwerschke et al., 2021). Extrapolado a la plataforma continental antártica (4,4 millones km<sup>2</sup>), esto podría equivaler a 220 millones de tC almacenado (Sands et al., 2023).

Más allá del valor ecológico, este potencial tiene implicancias económicas: se estima que el carbono inmovilizado en la plataforma antártica representa un valor de hasta 17,05 mil millones anuales de libras si se consideran horizontes de almacenamiento de mediano plazo, décadas a siglos (Sands et al., 2023). Así, el carbono azul polar se configura como uno de los pocos mecanismos de retroalimentación negativa frente al cambio climático que, en lugar de disminuir con la degradación ambiental, podría intensificarse a medida que se derriten glaciares y plataformas de hielo, siempre que se garantice la conservación de estos hábitats.

En conjunto, la literatura subraya que el *Polar Blue Carbon* constituye un sumidero emergente y robusto, aunque aún subestimado en las métricas globales de mitigación. Su desarrollo científico y político es clave para reconocerlo dentro de las NDC y en marcos internacionales de gobernanza climática (Morley et al., 2022; Sands et al., 2023).

**Planicies hipersalinas (sabkhas o salt flats):** Finalmente, las planicies hipersalinas o sabkhas representan ecosistemas áridos de gran interés, en los cuales se ha documentado acumulación de carbono en suelos bajo condiciones anóxicas. No obstante, la evidencia disponible es limitada y aún se requiere diferenciar claramente estos ambientes de marismas vegetadas, que sí forman parte del núcleo clásico (Lovelock & Duarte, 2019).

Con base en lo señalado por Lovelock & Duarte (2019), las planicies hipersalinas, conocidas como *sabkhas* o *salt flats*, han comenzado a ser consideradas como ecosistemas emergentes de carbono azul, aunque su reconocimiento aún es preliminar y altamente condicionado por la escasez de evidencia científica. Estos sistemas se definen como planicies intermareales altas características de regiones áridas, dominadas por tapetes microbianos y con una extensión que puede ser considerable en ciertos contextos geográficos. Su potencial como sumideros de carbono ha sido evaluado de manera cualitativa, concluyendo que cumplen con algunos de los criterios necesarios para ser clasificados como ecosistemas de carbono azul, pero la mayoría de los indicadores clave, incluyendo los *stocks* de carbono y las tasas de secuestro, permanecen inciertos o desconocidos. Por lo anterior, si bien se perfilan como candidatos para estrategias futuras de conservación y mitigación climática, es importante que se aborden las brechas actuales de conocimiento, tanto en su rol de captura y almacenamiento de carbono como en su contribución a la adaptación al cambio climático.

En conjunto, los ecosistemas emergentes de carbono azul amplían el espectro de hábitats con potencial de captura y almacenamiento de carbono más allá del núcleo clásico reconocido por el IPCC. Su análisis evidencia tanto oportunidades relevantes, como la alta productividad de macroalgas y kelp, o las tasas de entierro de fiordos y planos de lodo, así como limitaciones significativas asociadas a incertidumbre metodológica, adicionalidad y

ausencia de marcos de cuantificación consolidados. En la literatura, se reconoce que su incorporación a esquemas de mitigación climática dependerá de avances científicos, regulatorios y financieros que permitan validar su rol como sumideros efectivos. Así, este conjunto de ecosistemas debe entenderse como un campo en expansión, con proyecciones prometedoras, pero aún en etapa exploratoria, lo que exige tener cautela al momento de su aplicación práctica.

### 7.3 Características de ecosistemas clásicos y emergentes

**Tabla 12.**

*Principales características de ecosistemas clásicos y emergentes*

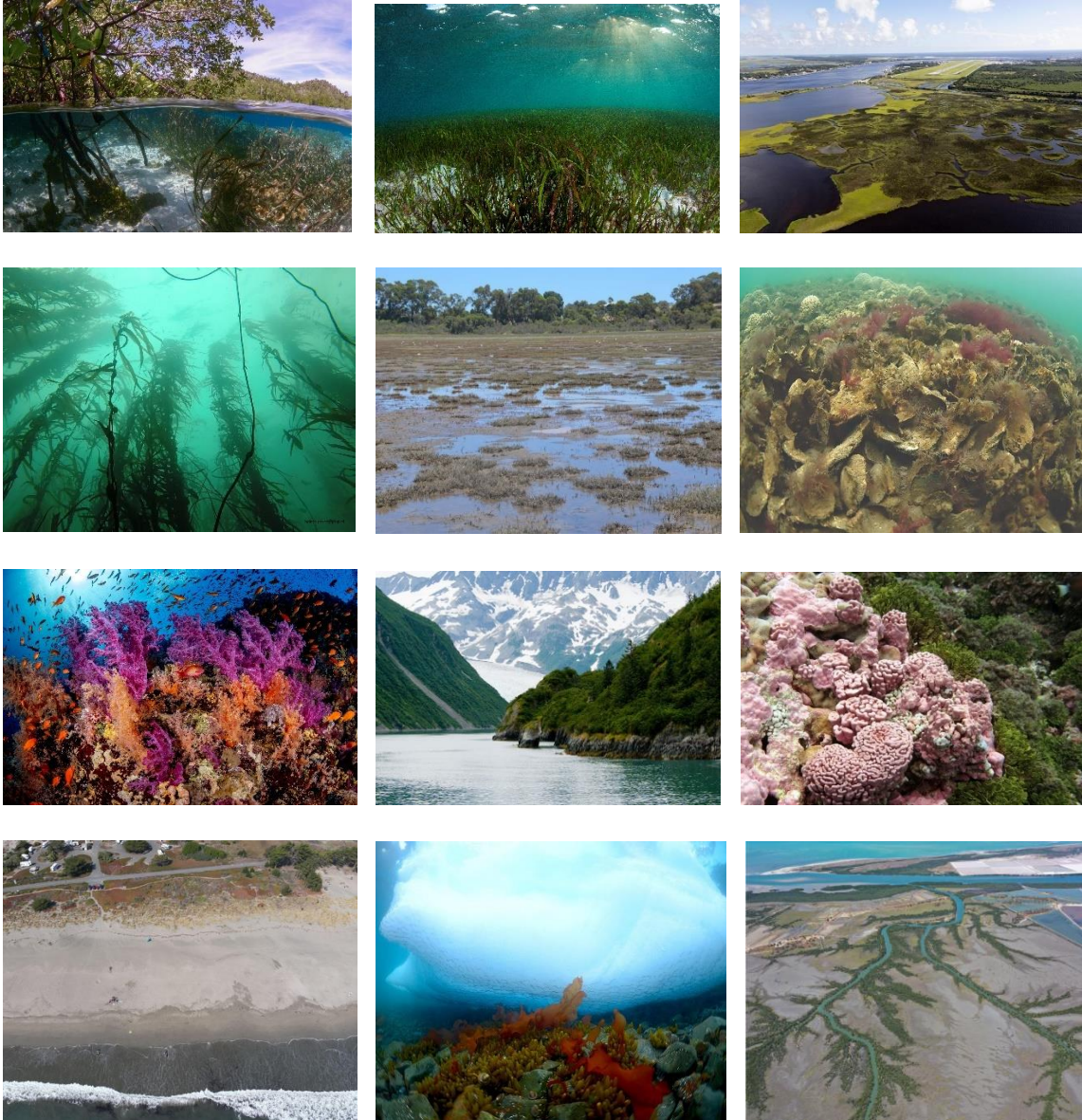
Clasificación	Ecosistema	Vegetado	Aspectos relevantes	Fuente
CLÁSICO	Manglares	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bosques de vegetación leñosa en zonas tropicales y subtropicales, sujetos a mareas</li> <li>- Metodologías IPCC consolidadas</li> <li>- Alta biomasa aérea y subterránea; suelos ricos en carbono; protección costera</li> <li>- Reserva de carbono: 8 Gt C en biomasa y suelos (IPCC, 2013)</li> <li>- Tasa de secuestro: Entre 140–170 gC/m<sup>2</sup>/año en suelos y biomasa (Taillardat, 2018; IPCC, 2013)</li> <li>- Amenazas: Deforestación, conversión a acuicultura, urbanización, cambios hidrológicos</li> </ul>	<a href="#">IPCC 2013</a>
				<a href="#">Taillardat, 2018</a>
CLÁSICO	Marismas	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humedales herbáceos halófilos en zonas templadas y boreales, influenciados por mareas.</li> <li>- Metodologías IPCC consolidadas</li> <li>- Importante distinguir de salinas evaporíticas o solar saltworks (no vegetadas, hipersalinas) que son emergente/exploratorias con evidencia incipiente y sin método IPCC</li> <li>- Reserva de carbono: 0,8 Gt C en suelos y biomasa combinados (IPCC, 2013)</li> <li>- Tasa de secuestro: Entre 210–240 g C/m<sup>2</sup>/año (Chmura, 2003; IPCC, 2013)</li> <li>- Amenazas: Relleno para agricultura/infraestructura, drenaje, contaminación</li> </ul>	<a href="#">IPCC 2013</a>
				<a href="#">Chmura, 2003</a>
CLÁSICO	Praderas marinas	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunidades de fanerógamas marinas sumergidas en zonas costeras someras (tropicales a templadas)</li> <li>- Metodologías IPCC consolidadas</li> <li>- Principal almacenamiento en sedimentos; exportan carbono orgánico; alta biodiversidad asociada</li> <li>- Reserva de carbono: 4,2–8,4 Gt C en suelos y biomasa (IPCC, 2013)</li> <li>- Tasa de secuestro: Entre 45–190 g C/m<sup>2</sup>/año (Greiner, 2013; IPCC, 2013)</li> <li>- Amenazas: Dragado, eutrofización, aumento de turbidez, anclaje de embarcaciones.</li> </ul>	<a href="#">IPCC 2013</a>
				<a href="#">Greiner, 2013</a>

Clasificación	Ecosistema	Vegetado	Aspectos relevantes	Fuente
EMERGENTE	Macroalgas/kelp (silvestres y cultivo)	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta productividad</li> <li>- Riesgo de remineralización</li> <li>- Sin contabilidad IPCC</li> <li>- Potencial en sistemas de cultivo</li> </ul>	<a href="#">Krause-Jensen &amp; Duarte, 2016</a>
EMERGENTE	Planos de Lodo (Mud Flats)	Presencia de organismos fotoautotróficos (vegetación o microfitobentos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actúan como sumideros en ciertas condiciones</li> <li>- Balance de GEI incierto (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O)</li> <li>- Priorizar protección</li> <li>- Falta de metodologías</li> </ul>	<a href="#">James et al., 2024</a>
EMERGENTE	Fiordos	Presencia de organismos fotoautotróficos (vegetación o microfitobentos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribución significativa a largo plazo</li> <li>- Inventarios globales los subestiman</li> <li>- Falta de MRV</li> <li>- Relevante para países con costas de fiordos</li> </ul>	<a href="#">James et al., 2024</a> <a href="#">Smith et al., 2015</a>
EMERGENTE	Lecho de algas coralinas (coralline algal beds)	Sí	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance fotosíntesis-calcificación aún incierto</li> <li>- Estructuras capturan materia orgánica particulada</li> <li>- Priorizar protección</li> <li>- Falta de metodologías</li> </ul>	<a href="#">James et al., 2024</a>
EMERGENTE	Arrecifes de coral (coral reef system)	Sí. Incluyen corales (fotoautótrofos calcificadores) y, en muchos casos, macroalgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance neto controvertido</li> <li>- Fotosíntesis puede compensar liberación de CO<sub>2</sub></li> <li>- Lagunas con alto potencial de sedimentación</li> <li>- Metodologías en desarrollo</li> <li>- Prioridad: conservación</li> </ul>	<a href="#">James et al., 2024</a>
EMERGENTE	Arrecifes de ostras y otros bivalvos (shellfish reefs)	Sí (o parcialmente, por organismos calcificadores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balance incierto por liberación de CO<sub>2</sub> en calcificación</li> <li>- Potencial como hábitat con co-beneficios</li> <li>- Evidencia limitada</li> </ul>	<a href="#">Fodrie et al., 2017</a>
EMERGENTE	Sedimentos costeros y plataforma somera	No (o muy baja)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Difícil atribuir adicionalidad</li> <li>- Baja capacidad de manejo local</li> <li>- Metodologías en exploración</li> </ul>	<a href="#">Smith et al., 2015</a>

Clasificación	Ecosistema	Vegetado	Aspectos relevantes	Fuente
EMERGENTE	Polar blue carbon (bentos antárticos/subantárticos)	No / ecosistemas bentónicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potencial creciente con el retiro del hielo</li> <li>- Evidencia limitada</li> <li>- Sujeto a gobernanza internacional</li> </ul>	<a href="#">Morley et al., 2022</a>  <a href="#">Sands et al., 2023</a>
EMERGENTE	Planicies hipersalinas (sabkhas o salt flats)	No (o muy baja)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evidencia incipiente</li> <li>- Diferenciar de marismas vegetadas (sí reconocidas por IPCC)</li> <li>- Baja representatividad</li> </ul>	<a href="#">Lovelock &amp; Duarte, 2019</a>

Fuente: Elaboración propia

## 7.4 Fotografías de ecosistemas citados



Imágenes de izquierda a derecha:

- 1) Manglares en Raja Ampat, Indonesia - Créditos: The Ocean Agency / Ocean Image Bank
- 2) Praderas Marinas Lakshadweep Islands - Créditos: Umeed Mistry / Ocean Image Bank
- 3) Marismas cerca de la base naval Mayport en Jacksonville, Florida - Créditos: Mark Bias / NOAA Fisheries
- 4) Macroalgas, Chile – Créditos: Helmo Pérez / IFOP
- 5) Planos de lodos – Créditos: Mia D'Alessio / Researchgate
- 6) Arrecife de ostras – Créditos: Oyster Recovery Partnership / NOAA Fisheries
- 7) Arrecife de coral en Mar Rojo, Egipto - Créditos: Renata Romeo / Ocean Image Bank
- 8) Fiordos de Kenai, entrada al glaciar Aialik - Créditos: Elliot Hurwitt / Shutterstock
- 9) Algas coralinas rosadas en las islas Line del Sur – Créditos: Maggie D. Johnson / Instituto Oceanográfico Scripps
- 10) Sedimentos Costeros, Doran-Beach-California – Créditos: Greater Farallones National Marine Sanctuary
- 11) Ecosistema Bentónico Antártico, Chile – Créditos: Centro IDEAL
- 12) Planicies hipersalinas en el estuario del río Piranhas-Açu, municipio de Macau (RN) – Créditos: De Sá & Pinheiro, 2025

## 7.5 Superficie de los ecosistemas de carbono azul presentes en Chile

**Tabla 13.**

*Superficie de ecosistemas de carbono azul en Chile*

Ecosistema	Extensión en Chile (km <sup>2</sup> )	Distribución	Amenazas	Estado de conservación y protección
Marismas	> 8	Todo Chile	Contaminación, pastoreo y pisoteo.	Protección comprometida y en incremento.
Praderas Marinas	< 4	Concentradas en el Norte	Contaminación.	No protegidas, en peligro de desaparecer.
Macroalgas	> 5.600	Concentradas en el extremo sur	Extracción y sobreexplotación . Eventos climáticos extremos.	Protegidas en el centro y sur de Chile.
Fiordos	240.000	Concentradas en el extremo sur	Desconocidas. Potencialmente la acuicultura.	Muchos en áreas protegidas. Poco intervenidos.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Rehbein et al., 2020)

## 7.6 Flujos financieros y condiciones de los instrumentos

**Tabla 14.**

*Flujos financieros: condiciones y riesgos*

Tipo de instrumento	Flujo financiero principal	Condiciones / Características clave	Riesgos / limitaciones
Bonos azules / verdes	Deuda etiquetada para conservación/restauración	Elegibilidad, verificación externa, gobernanza robusta	Riesgo reputacional si falla la trazabilidad
SLL / SLB (préstamos o bonos vinculados a sostenibilidad)	Crédito con tasa ajustable a KPIs/SLTs	Métricas claras, auditorías periódicas, covenants	Penalizaciones si no se cumplen metas
PSE (Pagos por Servicios Ecosistémicos)	Transferencias recurrentes condicionadas a resultados	Flujos previsible; contratos renovables; mecanismos de permanencia	Riesgo de discontinuidad si cambia la fuente pública
Trusts / Endowments territoriales	Rendimientos de un fondo patrimonial	Cubre OPEX plurianual; gobernanza fiduciaria; reglas de desembolso	Requiere masa crítica de capital inicial
Blended finance	Mezcla de recursos públicos/privados/filantropicos	Reduce riesgo y apalanca privados; útil en restauración/creación	Diseño complejo; necesita estructura fiduciaria
Esquemas pay-for-performance	Pagos contra resultados verificados (tCO <sub>2</sub> e)	Incentiva desempeño; MRV robusto; hitos en covenants	Flujo irregular si fallan verificaciones
Garantías	Cobertura parcial del riesgo (crédito/proyecto)	Des-riesga fases tempranas o innovaciones	Costo de la garantía; requisitos de activación
Deuda concesional	Préstamos con tasa/plazo preferente	Apta para CAPEX alto de restauración; anclaje a resultados	Elegibilidad limitada; riesgo de dependencia pública
Fondos públicos de innovación	Subvenciones y cofinanciamiento para pilotos	Soporta I+D, pruebas MRV, habilitación regulatoria	No cubren operación continua; concursables
Filantropía estructurante	Donación estratégica (primeras pérdidas/capacidades)	Crea reglas, capacidades y gobernanza; de-risking sistémico	Financiación no permanente si no se ancla a otras fuentes
Bonos / préstamos soberanos o para-soberanos	Deuda pública vinculada a metas ambientales/fiscales	Reglas de desembolso claras; encaje macrofiscal	Exigen estabilidad fiscal y transparencia
Canje de deuda por naturaleza	Ahorros fiscales reinvertidos en conservación	Requiere masa crítica de deuda, mejora crediticia y trust con reglas	Si faltan condiciones habilitantes, pierde justificación
Impuestos verdes / ETS y tasas / Cargos ambientales	Recaudación pública afectada a financiamiento ambiental	Fuentes predecibles que aseguran continuidad (incluye tasas/cargos por agua)	Voluntad política/estructura tributaria; asignación presupuestaria

**Nota:** Los mecanismos de permanencia (servidumbres, Reserva Legal u obligaciones de uso) no son instrumentos financieros, pero deben incorporarse contractualmente (PSE, SLL/SLB, bonos) para sostener integridad ambiental y social.

Fuente: Elaboración propia

## 7.7 Matriz ex-ante completa de condiciones habilitantes por combinación tipología–ecosistema–macrozona

**Tabla 15.**

*Matriz ex-ante completa*

Tipología/ Ecosistema / Macrozona	Instrumento financiero principal	Madurez metodológica ecosistema	Exigencia MRV / costos de transacción	Riesgo de permanencia y fugas	Condiciones regulatorias y de tenencia	Capacidades técnicas y de datos	Gobernanza y reparto de beneficios	Viabilidad de mercado y estándares activos	Semáforo ex-ante Global	Comentarios
Conservación de Marismas en el Norte–Centro-Sur	PSE (contratos renovables) + trusts/endowments territoriales	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Verde	Combinación clásica con buen encaje a PSE/trusts y alta factibilidad relativa en el corto plazo, si se abordan brechas regulatorias y de gobernanza territorial.
Restauración de Marismas en el Norte–Centro-Sur	Blended finance + deuda concesional/garantías para CAPEX + pay-for-performance (cuando aplique)	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Factibilidad condicionada: combinación prioritaria para avanzar con blended finance y fortalecimiento de MRV, capacidades y gobernanza, y foco central de las rutas habilitantes de corto plazo en restauración.
Restauración de Praderas Marinas en el Norte–Centro-Sur	Blended finance + pay-for-performance (créditos verificados/ PSE)	Verde	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Amarillo	Alta prioridad estratégica por su potencial de remoción y co-beneficios, pero las exigencias MRV y regulatorias mantienen la combinación en amarillo hasta cerrar brechas de datos y capacidades, especialmente en bahías reparadas del Sur.
Manejo / Protección de Macroalgas/ kelp en el Norte	PSE/co-beneficios o trusts para OPEX de manejo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Amarillo	Verde	Alta factibilidad para avanzar en el corto plazo en esquemas de PSE/co-beneficios y manejo sostenible en el Norte Humboldtiano,

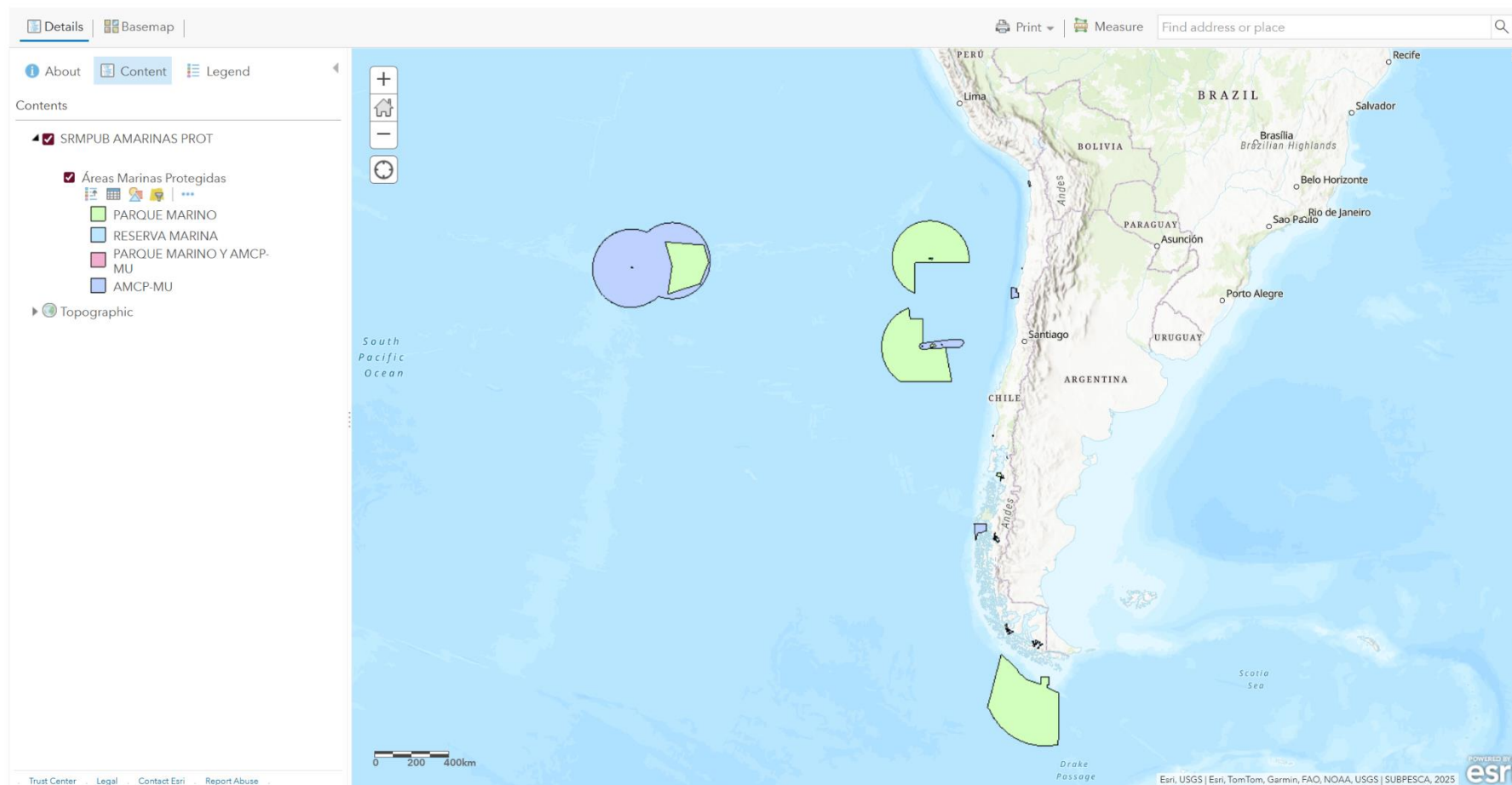
Tipología/ Ecosistema / Macrozona	Instrumento financiero principal	Madurez metodológica ecosistema	Exigencia MRV / costos de transacción	Riesgo de permanencia y fugas	Condiciones regulatorias y de tenencia	Capacidades técnicas y de datos	Gobernanza y reparto de beneficios	Viabilidad de mercado y estándares activos	Semáforo ex-ante Global	Comentarios
										apoyándose en AMERB y comanejo, aun cuando el MRV en tCO <sub>2</sub> e no esté plenamente consolidado.
Creación / Restauración de Macroalgas/ kelp en el Norte-Centro-Sur-Insular/ Patagónico	Fondos públicos de innovación + filantropía estructurante + blended finance	● Rojo	● Rojo	● Amarillo	● Amarillo	● Rojo	● Amarillo	● Rojo	● Amarillo	Tipología estratégica para el largo plazo; en el corto es factible sólo como piloto de innovación con financiamiento altamente concesional y foco en generación de evidencia y capacidades. Como portafolio escalable de créditos, se ubicaría en rojo.
Conservación / Manejo de Fiordos y canales en el Sur	PSE/co-beneficios + trusts/endowments	● Amarillo	● Rojo	● Rojo	● Amarillo	● Amarillo	● Amarillo	● Amarillo	● Amarillo	Alta relevancia climática y de biodiversidad; factible como línea de PSE/co-beneficios y trusts si se refuerzan MRV, capacidades y gobernanza. Los instrumentos de escala (bonos azules/canje de deuda) se perfilan como etapa posterior, condicionada a avances en estos habilitadores.

Fuente: Elaboración propia

## 7.8 ArcGis Map - Áreas Marinas Protegidas de Chile

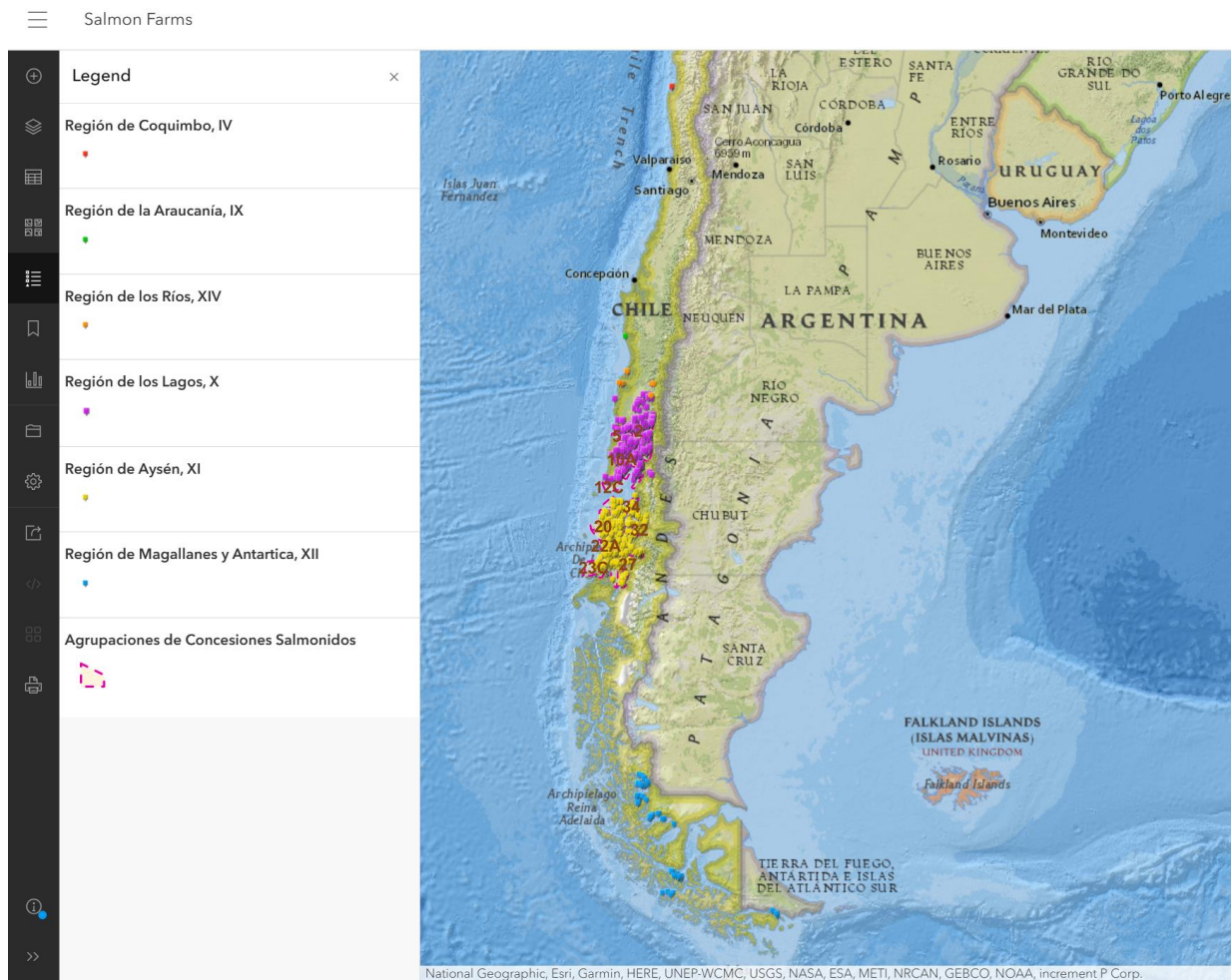
ArcGIS My Map

Open in Map Viewer Modify Map Sign In



Fuente: [https://geoportal.subpesca.cl/server/rest/services/IDE\\_PUBLICO/SRMPUB\\_AMARINAS\\_PROT/MapServer](https://geoportal.subpesca.cl/server/rest/services/IDE_PUBLICO/SRMPUB_AMARINAS_PROT/MapServer) sección ArcGIS Online Map View

## 7.9 ArcGis Map - Salmon Farms



Fuente:

<https://www.arcgis.com/apps/mapviewer/index.html?webmap=39e9f8c5b6864cbb982cad1beeb5f5a8>

Las áreas donde aparece intersección o colindancia estrecha entre Anexo 7.8 y 7.9 se concentran en:

- Región de Los Lagos (X): fiordos/senos interiores (Reloncaví–Comau–Quintupeu) y entorno marino interior de Chiloé.
- Región de Aysén (XI): archipiélago de los Chonos, canales Moraleda/Elefantes y el entorno de Raúl Marín Balmaceda / Pitipalena–Añihué, donde existe AMCP-MU y presencia histórica de centros.
- Región de Magallanes (XII): canales y fiordos del sector norte-occidental del estrecho (entorno de Francisco Coloane / áreas aledañas) donde hay AMP y también concesiones cercanas.

Importante: la categoría de AMP (Parque Marino, Reserva Marina, AMCP-MU) determina el régimen de usos; en AMCP-MU es común encontrar usos productivos compatibles bajo reglas de manejo, a diferencia de categorías más estrictas como Parques Marinos.