



# Manual para la creación de Proyectos de Carbono Azul en Europa y el Mediterráneo



La designación de entidades geográficas en esta publicación y en la presentación del material no comporta la expresión de opinión alguna por parte de la UICN ni de otras organizaciones participantes en lo que respecta al régimen jurídico de ningún país, territorio o área, ni tampoco a sus autoridades ni a la delimitación de sus fronteras o límites.

Las opiniones expresadas en la presente publicación no reflejan necesariamente las opiniones de la UICN ni de otras organizaciones participantes.

La UICN agradece la asistencia del programa europeo LIFE con el proyecto Life Blue Natura Andalucía (LIFE 14/CCM/ES/000957) y con el apoyo cofinanciado de la Fundación Cepsa.

Esta publicación ha sido posible también gracias al apoyo financiero de Red Eléctrica y la Fundación MAVA.



#### Publicado por:

UICN, Centro de Cooperación del Mediterráneo.

#### Copyright:

© 2021 UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales  
Se permite la reproducción de la presente publicación con fines educativos o de otra índole no comercial sin necesidad de autorización previa por escrito del titular de los derechos de copyright, siempre y cuando se reconozca plenamente la fuente. No está permitida la reproducción de la presente publicación para su reventa o con otros fines comerciales sin la autorización previa por escrito del titular de los derechos de copyright

#### Edición:

María del Mar Otero (Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN).

#### Contribuciones principales por sección:

Capítulo 1: M. Otero<sup>1</sup>, N. Piñero<sup>2</sup>

Capítulos 2-4: O. Levallois<sup>3</sup>, M. Otero

Capítulo 5: M. Otero, N. Piñero, M.E.M. Walton<sup>4</sup>

Capítulo 6: N. Piñero, M.E.M. Walton<sup>4</sup>, M.A. Mateo<sup>2</sup>, M. Otero

Capítulo 7: N. Piñero, M. Otero, M.E.M. Walton, M. A. Mateo

Capítulo 8: J. Terrados<sup>5</sup>, M. Otero, T. Bacci<sup>6</sup>, K. Didden<sup>7</sup>, B. La Porta<sup>6</sup>, M. Teunis<sup>7</sup>, T. Bouma<sup>8</sup>

Capítulo 9: M. Otero

<sup>1</sup> Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN / <sup>2</sup> CEAB, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) / <sup>3</sup> Hamerkop Climate Impact Ltd / <sup>4</sup> Universidad de Bangor / <sup>5</sup> IMEDEA, Consejo Superior de Investigaciones Científicas / <sup>6</sup> Instituto Italiano de Protección e Investigación Medioambiental (ISPRA) / <sup>7</sup> Bureau Waardenburg / <sup>8</sup> Real Instituto Neerlandés de Investigaciones del Mar (NIOZ) – Universidad de Utrecht

#### Original en lengua inglesa editado por:

Eoghan O'Sullivan | THAT COMMS GUY

#### Traducción:

Luis Álvarez López

#### Referencia bibliográfica a efectos de citación:

UICN (2021). Manual para la creación de proyectos de carbono azul en Europa y en el Mediterráneo. Otero, M. (Ed.), 144 páginas.

#### Fotografía de portada:

Vista aérea de marismas del Parque Natural de la Bahía de Cádiz (Andalucía, España).

Juan Carlos Muñoz / Alamy Stock Photo

#### Diseño y maquetación:

Carmen Moreno Álvarez

#### Impresión:

SOLPRINT S.L.

El texto de esta publicación se ha impreso en papel de 115 g/m<sup>2</sup> respetuoso con el medio ambiente.

#### Disponible por parte de:

UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza  
Centro de Cooperación del Mediterráneo  
C/ Marie Curie 22

29590 Campanillas, Málaga (España)

[www.iucn.org/resources/publications](http://www.iucn.org/resources/publications)

<http://www.iucn.org/mediterranean>

Y también en: <http://life-blunatura.eu/>

#### Acerca del Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN:

La UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) es una unión de miembros que se compone de organizaciones tanto gubernamentales como de la sociedad civil y que reúne la experiencia, los recursos y el alcance de las más de 1300 entidades que forman parte de la misma, así como la contribución de más de 15 000 expertos. La UICN es la autoridad global en lo que respecta al estado del mundo natural y a las medidas necesarias para preservarlo. El Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN se inauguró en Málaga (España) en octubre de 2001 con el apoyo básico del Ministerio de Medio Ambiente de España y el gobierno regional de la Junta de Andalucía. La misión del Centro consiste en contribuir, alentar y asistir a las sociedades del Mediterráneo para que conserven y hagan un uso sostenible de los recursos naturales de la región, así como colaborar con miembros de la UICN y cooperar con el resto de las agencias que comparten los objetivos de la Unión.



COFINANCIADOR



# Manual para la creación de Proyectos de Carbono Azul en Europa y el Mediterráneo

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	6
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS</b>	7
<b>PREFACIO</b>	8
<b>CAPÍTULO 1:</b>	
<b>SUMIDEROS NATURALES DE CARBONO: LOS ECOSISTEMAS DE CARBONO AZUL EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO</b>	10
¿QUÉ ES EL CARBONO AZUL?	14
LA IMPORTANCIA DE CONSERVAR LOS ECOSISTEMAS EUROPEOS Y MEDITERRÁNEOS DE CARBONO AZUL	18
<b>CAPÍTULO 2:</b>	
<b>POLÍTICAS Y NUEVOS MECANISMOS DE GESTIÓN DE CARBONO</b>	22
LOS MERCADOS DEL CARBONO: ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS	26
2.1. Mecanismos de línea de base y crédito o de compensación	26
2.2. Mecanismos de comercio de carbono cubiertos por el Acuerdo de París	31
2.3. Mercados de carbono voluntarios	32
2.4. Principios de estructuración	37
2.5. Estándares internacionales de carbono voluntarios	38
COMERCIALIZACIÓN DE RVE/ITMO	41
<b>CAPÍTULO 3:</b>	
<b>EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD O LA ADMISIBILIDAD DE PROYECTOS DE CARBONO</b>	42
3.1. Actividades admisibles y evaluación metodológica	45
3.2. Estimación de costes asociados al proceso integral de certificación	46
3.3. Flujo anticipado de bonos de reducción de emisiones del proyecto	47
3.4. Estimación del precio de las RVE y línea temporal de provisión	47
3.5. Propiedad de los derechos de reducción de emisiones	48
3.6. Evaluación de la adicionalidad	48
3.7. Criterios para la selección de proyectos	49
<b>CAPÍTULO 4:</b>	
<b>PROCESO DE CERTIFICACIÓN DE UN PROYECTO DE CARBONO (AZUL)</b>	50
REDACCIÓN DE LA NOTA DE IDEA DE PROYECTO	52
DOCUMENTO DE DISEÑO DE PROYECTO	53
INSCRIPCIÓN EN EL ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN APROPIADO	64
AUDITORÍA DE VALIDACIÓN	65
SEGUIMIENTO	66
AUDITORÍA DE VERIFICACIÓN	67
REGISTRO Y OTORGAMIENTO	67
CONSIDERACIONES ADICIONALES	68
LÍNEA TEMPORAL PREVISTA PARA LA CERTIFICACIÓN PLENA Y EL OTORGAMIENTO	71

<b>CAPÍTULO 5:</b>	
<b>CONCEPTUALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE CARBONO AZUL</b>	72
PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO DE CARBONO AZUL	74
ACTIVIDADES Y SALVAGUARDAS PARA PROYECTOS DE CARBONO AZUL	76
RESERVORIOS DE CARBONO	78
IDENTIFICACIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO Y PLAN DE MUESTREO	80
<b>CAPÍTULO 6:</b>	
<b>MUESTREO SOBRE EL TERRENO PARA DETERMINAR RESERVAS Y FLUJOS DE CARBONO EN LOS SUELOS</b>	86
PROFUNDIDAD DEL SUELO	88
DENSIDAD DEL SUELO Y CONTENIDO DE CARBONO	90
6.1. Extracción manual de núcleos	91
6.2. Medición de la tasa de acreción de sedimentos	96
6.3. Densidad aparente seca	98
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO	99
<b>CHAPTER 7</b>	
<b>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO</b>	102
ESTIMACIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO	104
ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE CAPTURA EN LA SITUACIÓN DE BASE	106
CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES Y ELIMINACIONES DE GEI DEL SUELO EN UNA SITUACIÓN DE PROYECTO	107
<b>CAPÍTULO 8</b>	
<b>RESTAURACIÓN DE SISTEMAS DE CARBONO AZUL</b>	110
CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO DE UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE CARBONO AZUL	113
RESTAURACIÓN DE PRADERAS MARINAS	117
RESTAURACIÓN DE MARISMAS SALADAS	125
<b>CAPÍTULO 9</b>	
<b>FUTUROS PROYECTOS DE CARBONO AZUL EN EUROPA Y EL MEDITERRÁNEO</b>	130
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	134
<b>REFERENCIAS</b>	136

# AGRADECIMIENTOS

Esta guía ha sido desarrollada por el Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN. Estamos muy agradecidos a todos los expertos que han contribuido a su elaboración, así como a los miembros del proyecto Life Blue Natura.

Nos gustaría hacer extensivo nuestro agradecimiento a los muchos colegas que han prestado su asistencia durante el desarrollo, como Lucía de la Fuente, Emmi Lindqvist, Andrea Cortés, Mark Walton y Hilary Kennedy. Agradecemos también el material fotográfico facilitado por Silvija Kipson, Jorge Terrados, Tiziano Bacci, Barbara La Porta, Karin Didden y Yiannis Issaris.

El manual se beneficia también del trabajo desarrollado por diversos proyectos, como el proyecto LIFE «*Supporting environmental governance for the Posidonia oceanica Sustainable transplanting Operations*» (LIFE SEPOSSO), el proyecto «Bosque marino Red Eléctrica» y la labor desarrollada por la Universidad de Bangor con el proyecto «*Boosting climate change resilience: Restoring marine ecosystem connectivity in south western Turkey*».

Finalmente, expresamos nuestro agradecimiento a las entidades que han financiado este trabajo, al programa *Europe's Life Programme* a través del proyecto LIFE BLUE NATURA ANDALUCÍA (LIFE 14/CCM/ES/000957) y a los cofinanciadores de la UICN: la Fundación Cepsa, Red Eléctrica de España (REE) y Fundación MAVA.

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

UCA	Unidad de cantidades atribuidas
AFOLU	Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (del inglés <i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i> )
SAC	Solicitud de acción correctiva
CCB	Estándar de Clima, Comunidad y Biodiversidad
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
RCE	Reducción certificada de las emisiones
SCL	Solicitud de clarificación
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de calcio
CH <sub>4</sub>	Metano
EOD	Entidad operacional designada
EIA	Evaluación de impacto ambiental
URE	Unidad(es) de reducción de emisiones
ESR	Reglamento de reparto del esfuerzo (del inglés <i>Effort Sharing Regulation</i> )
CDE	Comercio de derechos de emisiones
UE	Unión Europea
RCDE UE	Régimen de Comercio de Derechos de Emisiones de la UE
GEI	Gas de efecto invernadero
GS	Certificación <i>Gold Standard</i>
GS4GG	Certificación <i>Gold Standard</i> para los objetivos globales (del inglés <i>Gold Standard for the Global Goals</i> )
ISO	Organización Internacional de Normalización
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (del inglés <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> )
ITMO	Resultados de mitigación de transferencia internacional (del inglés <i>Internationally Transferred Mitigation Outcomes</i> )
AC	Aplicación conjunta
PK	Protocolo de Kioto
UTCUTS	Uso de la Tierra, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura
MtCO <sub>2</sub>	Megatonnes of carbon dioxide equivalent units
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
CDN	Contribuciones determinadas a nivel nacional
AP	Acuerdo de París
PIN	Nota de idea de proyecto (del inglés <i>Project Idea Note</i> )
PDD	Documento de diseño de proyecto (del inglés <i>Project Design Document</i> )
PP	Proponente de un proyecto
QA/QC	Aseguramiento y control de la calidad (del inglés <i>Quality assurance/Quality control</i> )
REDD	Reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques
RMU	Unidad de eliminación (del inglés <i>removal unit</i> )
t	Toneladas
tCO <sub>2</sub>	Toneladas de dióxido de carbono
tCO <sub>2</sub> e	Toneladas equivalentes de dióxido de carbono
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
VCS	Estándar verificado de carbono (del inglés <i>Verified Carbon Standard</i> )
OVV	Organismo de validación y verificación

# PREFACIO

El cambio climático constituye una de las mayores amenazas para la humanidad y está llamado a plantear cada vez más dificultades en nuestra forma de gestionar nuestro desarrollo. Estabilizar el sistema climático, tal y como se contempla en el Acuerdo de París, requiere medidas de mitigación y adaptación para reducir el impacto del cambio climático y aumentar la resiliencia de los servicios ecosistémicos esenciales. En los entornos marinos, la degradación y la pérdida de hábitats costeros, en particular de ecosistemas que capturan carbono, están teniendo como consecuencia una disminución sin precedentes de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos. Además, la presión sobre la financiación pública insta a las organizaciones a buscar enfoques innovadores para resolver estas dificultades y encontrar formas de financiar iniciativas e identificar oportunidades de colaboración entre los sectores público y privado.

En este contexto, están cogiendo impulso como opción las soluciones basadas en la Naturaleza para la adaptación y la mitigación del cambio climático. El carbono azul es el tipo de carbono que se acumula en los ecosistemas costeros y marinos. Los ecosistemas costeros compuestos de manglares, marismas saladas y praderas marinas, como las de *Posidonia oceanica* en el Mediterráneo, constituyen importantes sumideros de carbono, ya que lo capturan en su forma orgánica y lo almacenan durante miles de años. Además, los ecosistemas costeros de «carbono azul» ofrecen una amplia variedad de servicios ecosistémicos que sustentan los modos de vida costeros y contribuyen a la adaptación al cambio climático. Sin embargo, a pesar de la importancia de los sistemas ecosistémicos que proporcionan, estos hábitats están desapareciendo a velocidades alarmantes.

Por todos estos motivos, se impone la necesidad de poner en marcha una gama de incentivos y mecanismos para garantizar tanto la reducción del impacto por medio de prácticas más sostenibles como la consecución de objetivos de conservación para estos ecosistemas. La implicación y el apoyo del sector privado son esenciales para abordar estas dificultades.

Este manual surge de un interés en financiar los esfuerzos de conservación y restauración a nivel tanto europeo como mediterráneo a través de la venta de bonos de compensación de carbono azul. Su objetivo es aportar orientación a partir de conocimientos para el desarrollo de intervenciones basadas en proyectos que emplean mecanismos de financiación de carbono, a fin de mejorar las condiciones de las praderas marinas y los humedales costeros de cara a la mitigación y la adaptación al cambio climático. De forma complementaria, el manual puede utilizarse para otras intervenciones, p. ej., abordar cómo cuantificar de forma consistente las reservas de carbono azul para identificar ganancias y pérdidas e informar los inventarios de gases de efecto invernadero.

El público objetivo de este manual es el espectro completo de posibles proponentes interesados en aplicar el valor del carbono azul a través del desarrollo de iniciativas encaminadas a mitigar el cambio climático y a apoyar la gestión de los ecosistemas costeros; entre ellos se encuentran los ministerios y agencias relevantes, los encargados de la gestión costera, los profesionales que estudian las emisiones de carbono o a cargo de trabajos de restauración o impronta de cambio climático, las organizaciones de la sociedad civil, los investigadores y los representantes del sector privado en busca de oportunidades para fortalecer sus iniciativas de responsabilidad social corporativa.

El manual se alimenta de diversas metodologías existentes, como el proyecto *Coastal Blue Carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows* («Carbono azul costero: métodos para la valoración de reservas de carbono y factores de emisiones en manglares, marismas saladas mareales y praderas marinas») desarrollado por la Iniciativa Internacional de Carbono Azul y los trabajos elaborados por el proyecto LIFE Blue Natura de la UE.

El manual presenta etapas metodológicas para identificar, evaluar, preparar, ejecutar y organizar un proyecto de carbono azul sobre el terreno, incluyendo indicaciones sobre cómo optimizar la asignación de esfuerzos a la hora de recopilar datos del terreno y cómo obtener estimaciones sólidas dentro de los límites de los proyectos de carbono azul. También articula elementos esenciales para la implementación de restauraciones, especialmente con fines de mitigación, y describe recursos adicionales a los que pueden recurrir los desarrolladores de proyectos para entender otras actividades de gestión que resultan efectivas para fomentar este valor. Se utilizan casos de ejemplo de distintas regiones para ilustrar los conceptos, las intervenciones y los enfoques adoptados.

A fin de potenciar la capacidad de estructuración de proyectos que se hayan de financiar por medio de mecanismos de financiación de carbono, el manual ofrece información exhaustiva y detallada acerca de dichos mecanismos y herramientas de financiación de carbono, con los siguientes elementos: (i) información contextual acerca de los mercados del carbono, mecanismos de línea de base y crédito, estándares de certificación de carbono, comercialización con bonos de carbono y proyectos existentes en materia de carbono azul; (ii) instrumentos para analizar la viabilidad o la admisibilidad de proyectos en materia de carbono azul, incluyendo evaluaciones metodológicas, flujos de coste y beneficios, derechos de propiedad y consideraciones adicionales; (iii) explicación detallada del proceso de certificación de proyectos de carbono, desde la redacción preliminar de una nota de idea de proyecto hasta la emisión de bonos de carbono; y (iv) consideración de la doble cuantificación y de los compromisos de los países receptores para con tratados internacionales.

Este trabajo ha sido desarrollado en el contexto de una labor financiada por el proyecto LIFE Blue Natura de la UE y cofinanciada por Fundación CEPESA, MAVTA y Red Eléctrica, que tiene como objetivo fomentar la comprensión entre organismos públicos y privados de los distintos estándares e iniciativas de carbono azul. Nuestro enfoque se centra en facilitar a las partes interesadas el seguimiento de los progresos en los múltiples foros que promueven estándares voluntarios y sientan los cimientos de los pagos basados en resultados. Puesto que estos esfuerzos y metodologías disponibles para el cálculo y la verificación de los bonos de carbono por labores de restauración y conservación se encuentran aún en una fase temprana en Europa y en el Mediterráneo, los proyectos individuales deberán adecuarse a disposiciones y prioridades únicas a nivel nacional, incluyendo, entre otros factores, las condiciones ecológicas, sociales y político-jurídicas, el contexto geográfico y la disponibilidad de financiación. Por último, las recomendaciones finales proporcionan indicaciones de cara al futuro de estos estándares y mecanismos.

## CAPÍTULO 1:

# SUMIDEROS NATURALES DE CARBONO: LOS ECOSISTEMAS DE CARBONO AZUL EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO





## SUMIDEROS NATURALES DE CARBONO: LOS ECOSISTEMAS DE CARBONO AZUL EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

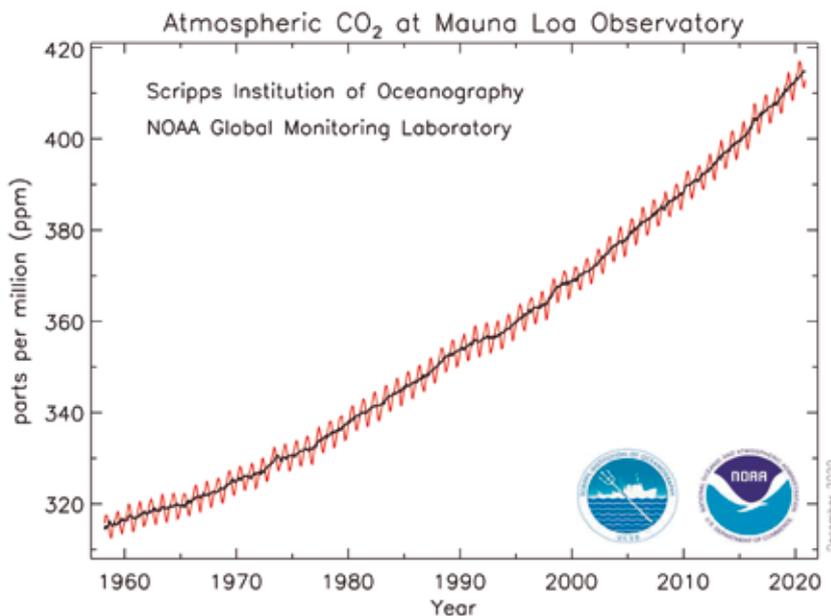
La emisión de gases de efecto invernadero, incluido el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ha constituido la principal causa del cambio climático y del calentamiento global desde mediados del siglo XX. En la actualidad, el efecto conjunto de actividades antropogénicas como la combustión de combustibles fósiles, la deforestación y la producción de cementos está provocando el aumento de los niveles de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera de las aproximadamente 280 partes por millón (ppm) que se observaban en la época preindustrial a más de 400 ppm. Las emisiones fósiles de  $\text{CO}_2$  son actualmente un 62 % más altas que en 1990, cuando comenzaron las negociaciones internacionales sobre el clima; las proyecciones vigentes pronostican un pronunciado aumento de estas concentraciones, que podrían alcanzar entre 535 y 983 ppm en la atmósfera a finales del siglo XXI (fig. 1) [1]. También han aumentado drásticamente desde sus niveles preindustriales las concentraciones de otros gases de efecto invernadero como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), muy vinculados a actividades como la producción agrícola [1]. La emisión continuada de gases de efecto invernadero a los niveles actuales o por encima de estos puede causar

un mayor aumento de las temperaturas globales, con impactos rápidos y peligrosos sobre el cambio climático.

Gran parte del carbono emitido en la atmósfera se captura, almacena y moviliza gradualmente en los océanos por medio de procesos naturales biológicos, físicos y químicos [1] (fig. 2). De forma paralela al incremento de los niveles atmosféricos, los mares y océanos han aumentado la cantidad de  $\text{CO}_2$  que absorben [2], lo que se ha traducido en un aumento de las temperaturas de la superficie marina y en una disminución gradual del pH oceánico; este proceso se conoce también como acidificación de los océanos [3, 4].

Una vez que se encuentra en el océano, el carbono es absorbido parcialmente por organismos fotosintéticos como el plancton, las comunidades vegetales marinas bentónicas y los organismos calcificadores; otra parte queda almacenada en forma de sedimentos oceánicos. Estos procesos de absorción y almacenamiento de  $\text{CO}_2$  en reservorios a largo plazo, junto con el carbono orgánico exportado mar adentro desde las aguas costeras que queda enterrado en

12



**Figura 1:** Emisiones fósiles de  $\text{CO}_2$  globales registradas en Mauna Loa (Hawái) (fuente: NOAA). El descenso de las emisiones proyectado para 2021-2050 dependerá de cómo continúe la evolución de la pandemia y de las respuestas gubernamentales para atajarla durante y después de dicho período.

los sedimentos oceánicos, constituyen las **reservas naturales de carbono acumuladas por los océanos**. Según las estimaciones actuales, los procesos marinos son responsables de al menos el 55 % de la fijación biológica de carbono, a saber, 197,64-215,94 Gt de CO<sub>2</sub> al año de 406,26-428,22 Gt de CO<sub>2</sub> anuales totales, y suponen hasta el 71 % del almacenamiento de carbono en sedimentos oceánicos [5-7].

Los ecosistemas costeros clave dominados por plantas superiores, como los manglares, las marismas saladas y las praderas marinas, han superado los niveles de enterramiento de carbono en comparación con los ecosistemas terrestres, con un notable impacto en el almacenamiento de carbono a largo plazo [4]; se les conoce como **ecosistemas costeros de carbono azul** o **hábitats costeros de carbono azul**, debido a su capacidad de secuestrar y almacenar carbono como materia orgánica [8-11] (fig. 3). Mantener y fomentar estos sumideros es una prioridad emergente en el contexto de la mitigación del cambio climático [12-14].

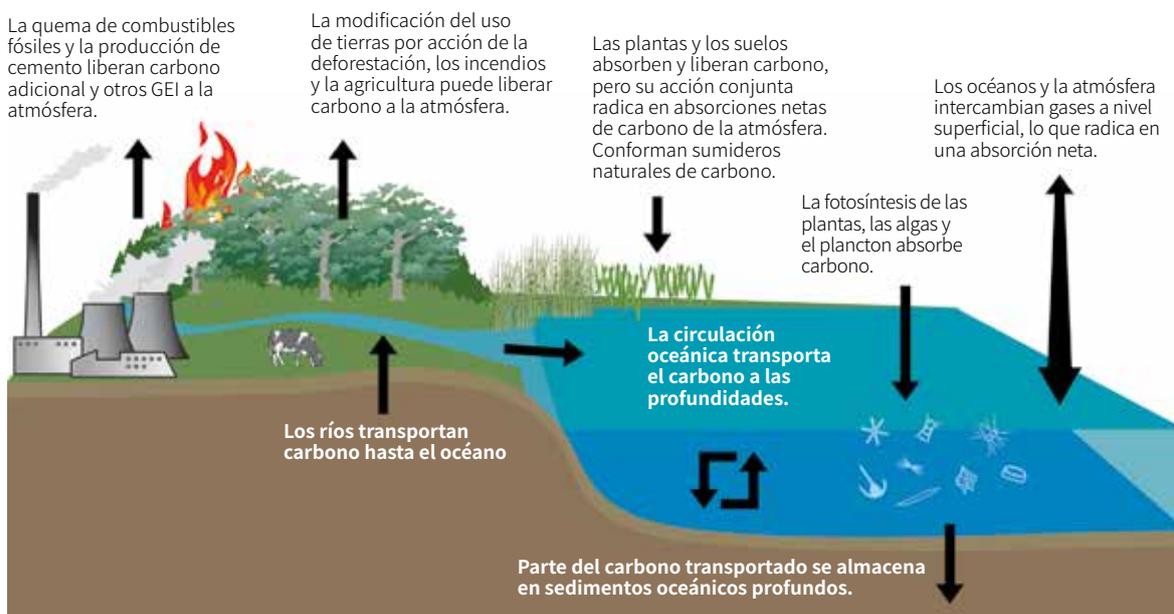
Junto con esta capacidad, los ecosistemas costeros de carbono azul ofrecen una amplia variedad de servi-

cios ecosistémicos que sustentan los modos de vida costeros y contribuyen a la adaptación al cambio climático, con servicios de asistencia a los hábitats y a la cadena alimentaria para muchas especies, incluidos los peces de interés comercial, el reciclaje de nutrientes, la estabilización de costas, la protección contra tormentas y la atenuación de inundaciones [15, 16]. Al reducir el impacto de las olas que rompen y al estabilizar los sedimentos, ofrecen protección a las costas y controlan la erosión del litoral adyacente [17, 18].

Además, los ecosistemas de praderas marinas constituyen una fuente de arena carbonatada para las playas y actúan como filtros naturales que contribuyen a reducir la turbidez y a mejorar la calidad del agua.

La estructura única de muchas de las especies que conforman estos ecosistemas costeros puede elevar notablemente el suelo marino con la acumulación de los materiales que se producen en los mismos (p. ej., lechos de hojas) y que son importados desde tierra firme a través de los ríos o de zonas más profundas, lo que contribuye a brindar una protección natural al litoral contra la subida del nivel del mar [19].

**Figura 2:** Diagrama que muestra los sumideros y las fuentes del ciclo de carbono. UICN. Los símbolos de los diagramas son cortesía de la Red de Integración y Aplicación del Centro de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Maryland.



## ¿QUÉ ES EL CARBONO AZUL?

El **carbono azul costero** es el carbono que se almacena en ecosistemas de zonas costeras o pericosteras, especialmente en manglares, marismas saladas y praderas marinas [4, 6, 9, 20]. Este tipo de carbono puede quedar almacenado en estos ecosistemas a corto plazo (entre meses y décadas) en forma de biomasa y durante milenios capturado en el subsuelo [21]. En cambio, el **carbono azul oceánico** consta del carbono almacenado en el agua y los sedimentos de las profundidades oceánicas por acción de organismos marinos como el fitoplancton y otros tipos de biota de océano abierto, así como por el efecto de procesos químicos.

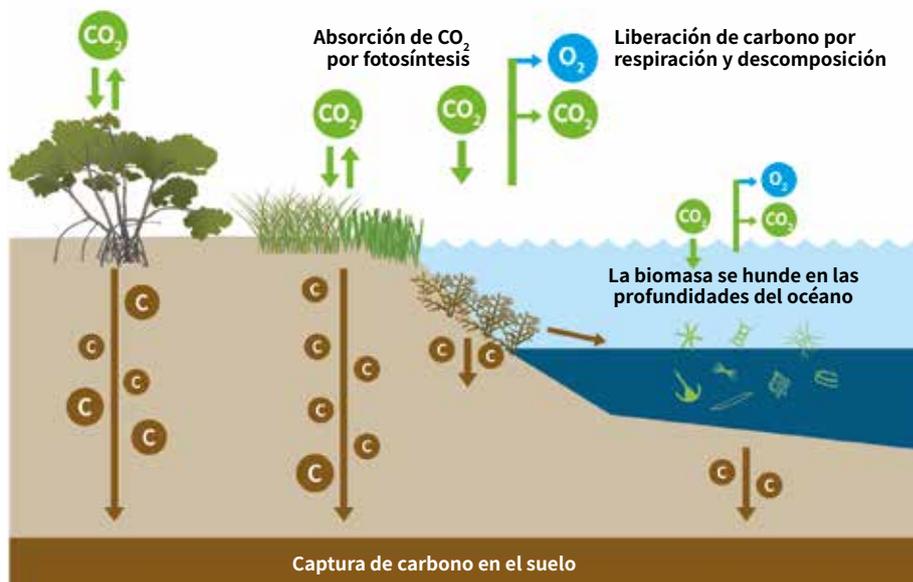
En esta publicación nos centramos en el carbono azul costero, dada su relevancia como herramienta para la conservación de los ecosistemas costeros vegetados.

La mayor parte del carbono de estos ecosistemas queda retenido en los sustratos, en la biomasa viva de la superficie (hojas, ramas, tallos) y subterránea (raíces) y en la biomasa no viva (p. ej., lechos de hojas y madera muerta). En las marismas costeras y las

praderas marinas, las mayores reservas de carbono de todos estos depósitos se almacenan en los suelos (más del 98 %) [22, 23]. Aquí, las reservas de carbono (orgánico) del suelo se componen tanto de carbono autóctono estabilizado en el propio ecosistema (p. ej., como materia orgánica a través de la fotosíntesis) como de carbono alóctono importado (p. ej., por vía terrestre a través de flujos de agua dulce o desde el océano; [24]).

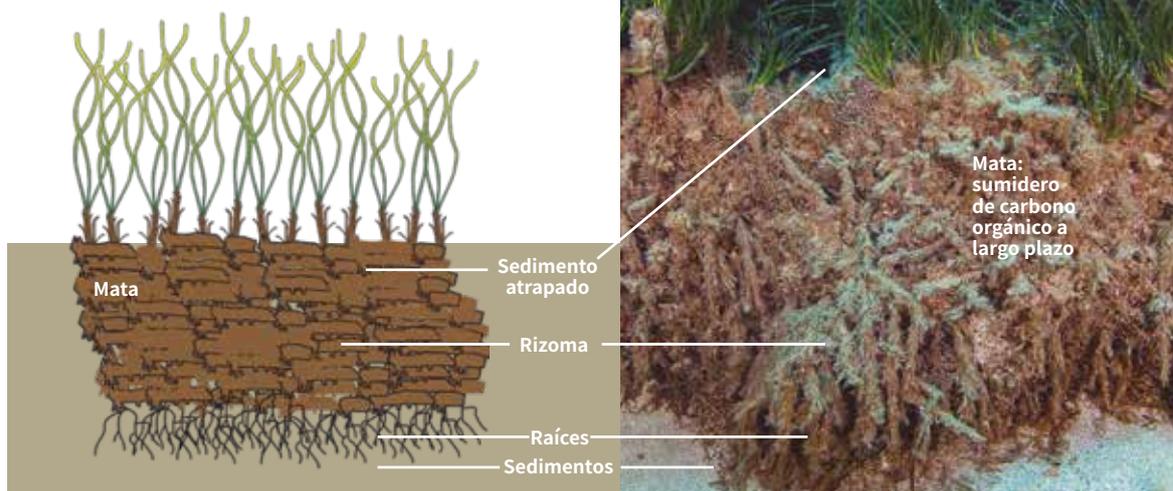
En las plantas de las praderas marinas y los manglares, hay también reservas significativas de carbono inorgánico particulado en forma de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) que se acumula en los sedimentos, proveniente de las conchas de diversos organismos que habitan en las praderas, pero especialmente de fuentes externas al hábitat [25]. Así pues, el enterramiento de  $\text{CaCO}_3$  es un proceso fundamental que potencia el papel de los ecosistemas de carbono azul en la adaptación al cambio climático, porque contribuye a su capacidad de acumular sedimentos rápidamente y a la elevación del lecho marino, lo que contrarresta la subida del nivel del mar.

14



**Figura 3:** Ilustración gráfica de la absorción de carbono mediante fotosíntesis por parte de los ecosistemas de carbono azul, con la consiguiente captura a largo plazo en la biomasa y en el suelo o con los procesos de respiración. Adaptado de: Howard et al., 2017: *Frontiers in Ecology and the Environment*.

**Figura 4:** Una pradera de *Posidonia oceanica* crea una estructura única conformada por rizomas y raíces, con sedimentos que penetran en los intersticios. Esta estructura, denominada «mata», puede alcanzar varios metros de altura, y el carbono orgánico e inorgánico que se almacena en su interior puede conservarse durante milenios.



**El carbono azul costero es el carbono orgánico almacenado por ecosistemas costeros como los humedales, incluyendo las marismas, los manglares y las praderas marinas; representa una gran parte de las reservas de carbono natural secuestradas y almacenadas durante miles de años en estos entornos.**

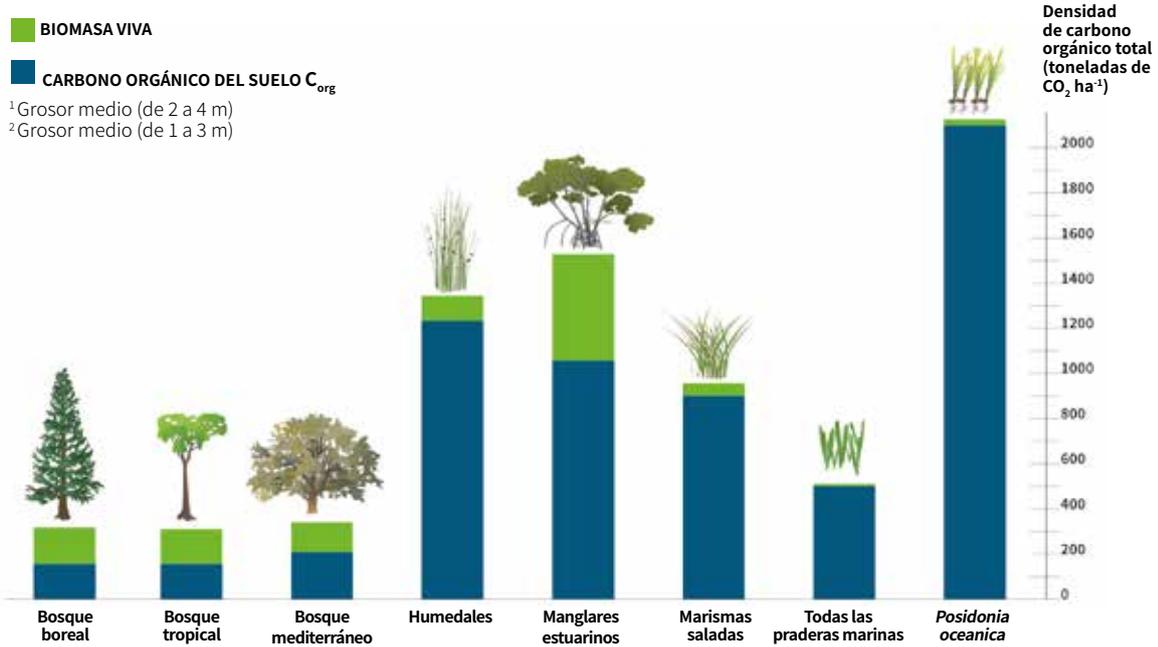
Estudios recientes destacan la contribución de otros componentes clave de los ecosistemas marinos, como los **bosques marinos de macroalgas**, a la captura de carbono [4, 6, 9, 20]. Las nuevas investigaciones de los últimos años sugieren que hasta el 30 % de la productividad primaria neta del cultivo de algas marinas podría exportarse a las profundidades del mar con fines de deposición y captura a largo plazo, aplicando al ámbito del carbono azul este ecosistema y métodos como la acuicultura oceánica regenerativa o la reforestación de algas [13].

Todas las plantas extraen carbono de la atmósfera y lo convierten en tejido vegetal a través de la fotosíntesis. Los tejidos vegetales vivos (o reservas

no taladas) suelen tener un período de reposición corto (entre meses y décadas); sin embargo, el carbono almacenado en los suelos puede conservarse durante siglos. Esto es particularmente cierto en el caso de los sustratos orgánicos formados por la tupida capa de raíces y rizomas que penetran en los sedimentos bajo las praderas marinas de *Posidonia oceanica* (fig. 4); este puede tener varios metros de espesor y es una importante reserva de carbono azul en el mar Mediterráneo, gracias a miles de años de crecimiento y de precipitación de sedimentos [26, 27].

La importancia de los ecosistemas de carbono azul de cara a la captura de carbono a largo plazo es particularmente significativa al establecer una comparación con los ecosistemas terrestres. Si se toma en consideración la superficie, las estimaciones globales apuntan a que estos ecosistemas costeros constituyen sumideros de carbono más eficientes que la mayoría de bosques terrestres [4, 24] (fig. 5). Solo en el metro más superficial del suelo, se estima que el almacenamiento de carbono en las marismas saladas es de aproximadamente 250 tC ha<sup>-1</sup>, de 280 tC ha<sup>-1</sup> en los manglares y de 140 tC ha<sup>-1</sup> en las praderas marinas [10].

El potencial de captura de los hábitats de carbono azul presenta variaciones notables. Su efectividad puede deberse, en parte, a su elevada productividad



**Figura 5: Comparación del almacenamiento de C<sub>org</sub> en el metro superior del suelo con el almacenamiento de C<sub>org</sub> total en los principales tipos de ecosistemas.** En este caso, las praderas de *Posidonia oceanica* constituyen una pradera marina única en términos de cantidad de carbono orgánico que puede almacenarse en sus sedimentos y su mata. Datos del suelo: metro superior del sedimento [12, 111, 112, 113].

primaria y a su eficacia a la hora de almacenar carbono y nutrientes en sedimentos anóxicos [21, 28]. A diferencia de lo que ocurre en los hábitats terrestres, el carbono secuestrado en el subsuelo de manglares, marismas saladas y praderas marinas puede quedar acumulado durante siglos o incluso milenios en los casos de las especies vegetales más persistentes [29, 30]. Además, las condiciones de salinidad de los suelos de los humedales costeros tienen la ventaja de emitir potencialmente cantidades insignificantes de otros gases, como el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O) [31] (aunque existen excepciones), que ejercen un efecto invernadero notablemente más intenso que el del CO<sub>2</sub>. Por estos motivos, existe un creciente interés en gestionar, proteger y restaurar los hábitats de carbono azul en el marco de las políticas locales y globales de mitigación del cambio climático.

A escala global, la tasa media estimada de captura de carbono en marismas saladas y manglares es de 242,2 y 210 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente, lo que equivale<sup>1</sup> a 880,1 y 770 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> [32, 33].

En el caso de las praderas marinas, las estimaciones oscilan entre 1,8 y 177,8 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> o 6,6 y 651,9 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> (mediana: 206,1 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) [21].

**Esto indica que el potencial económico de la restauración de estos ecosistemas radica más en el efecto de la protección de las reservas de carbono que en la tasa anual de captura de CO<sub>2</sub>.**

Son muchos los factores que influyen en la cantidad exacta de carbono que pueden absorber los ecosistemas de carbono azul. Entre ellos se encuentran el tipo de hábitat, la composición de las especies vegetales, la ubicación, la profundidad del agua y el aporte de nutrientes. La ubicación influye, por ejemplo, sobre el tipo y la abundancia de sedimentos y las condiciones climáticas [35]. En comparación con otros sistemas costeros, los sistemas estuarinos suelen contar con una mayor disponibilidad de sedimentos finos, nutrientes y materiales que pueden incorporarse a los sedimentos propios de los humedales costeros. Además, la acumulación de carbono en praderas marinas se ve favorecida en

<sup>1</sup> Factor de conversión para el carbono: 1 tonelada de carbono (C) equivale a 11/3 = 3,66666667 toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

entornos resguardados y poco profundos de escasa energía y turbidez, con un aporte entre bajo y medio de nutrientes [36].

Las reservas de carbono también difieren entre hábitats compuestos de especies distintas, en función de sus características y de las condiciones medioambientales en las que crecen. Por ejemplo, las reservas más elevadas se han observado en praderas marinas continuas de alta densidad compuestas de especies vegetales grandes y persistentes, con doseles complejos (p. ej., *Posidonia spp.* y *Thalassia spp.*), o de especies pequeñas y colonizadoras (p. ej. *Halophila spp.* y *Halodule spp.*) [36].

Los procesos de conversión antropogénica y degradación de los ecosistemas de carbono azul pueden generar emisiones significativas, ya que gran cantidad del carbono almacenado en el subsuelo se emite a la atmósfera y al mar [10, 37], lo que convierte a los hábitats que antes funcionaban como sumideros netos en fuentes emisoras de carbono.

«La pérdida y la degradación de los ecosistemas de carbono azul pueden provocar la liberación a la atmósfera del carbono almacenado, lo que aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub> y contribuye al calentamiento global» [10].

Parte del carbono exportado puede quedarse capturado en ubicaciones oceánicas a gran profundidad, y parte se deposita a lo largo de la costa a modo de bancales en playas, marismas y llanuras mareales.



## LA IMPORTANCIA DE CONSERVAR LOS ECOSISTEMAS EUROPEOS Y MEDITERRÁNEOS DE CARBONO AZUL

Los ecosistemas costeros de carbono azul en Europa y en la cuenca mediterránea abarcan especialmente marismas saladas y praderas marinas [38, 39]. Estos hábitats capturan carbono lentamente a lo largo del tiempo, con lo que acumulan reservas de carbono que pueden alcanzar miles de años de antigüedad bajo una cubierta de biomasa viva. **Estas reservas de carbono se consideran «emisiones protegidas», siempre y cuando no se vean afectados los sedimentos ni las condiciones de humedad del suelo.**

Estudios y publicaciones recientes apuntan a que otros hábitats marinos (p. ej., hábitats costeros y de plataforma continental con sedimentos suaves, bosques de macroalgas) podrían desempeñar un papel importante, hasta ahora menos conocido y sin cuantificar, como reservas de carbono [8, 9, 40].

18

### Praderas marinas

Las praderas marinas son un grupo de plantas florales marinas, distribuidas por todo el mundo, que se extienden ampliamente a modo de prados en las

aguas poco profundas. Suelen darse en el límite entre las marismas saladas inferiores y la zona sublitoral.

A lo largo de la costa del mar Mediterráneo aparecen diversas especies propias de las praderas marinas: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* y *Z. noltii*, así como la especie no nativa *Halophila stipulacea*. Esta última se encuentra sobre todo en las costas orientales y meridionales del Mediterráneo. Recientemente, se ha informado por primera vez de la presencia en el golfo Sarónico (Grecia) de otra especie no nativa, *Halophila decipiens*, también propia de las aguas atlánticas de las islas Canarias. Estudios próximos informarán sobre la persistencia de la especie en la región [41].

Entre todas las especies propias de las praderas marinas, la *Posidonia oceanica* endémica del Mediterráneo es la más abundante y extendida, así como la más eficiente a la hora de captar y almacenar CO<sub>2</sub> de la atmósfera [22]. La especie más dominante en aguas europeas del Atlántico es la *Zostera marina*. En lo que respecta a sus capacidades de captura de CO<sub>2</sub>, algunos estudios han aportado información por especies y

Praderas marinas de *Posidonia oceanica*, uno de los sumideros costeros de carbono más extensos del Mediterráneo.



alcance geográfico (véanse algunos ejemplos en la tabla 1).

**Destaca la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico solo por parte de *Posidonia oceanica*, que se estima entre 1 y 4.100 tC ha<sup>-1</sup> [39].**

En el pasado, se han perdido grandes extensiones de praderas maridas por toda Europa y el Mediterráneo, lo que es atribuible en gran medida a los impactos antropogénicos como, principalmente, la reducción de la calidad del agua (a causa de la contaminación y la eutrofización debidas a la acuicultura o las aguas residuales), la erosión mecánica (procesos de arrastre y fondeo) y los cambios indirectos que provocan el enterramiento de las praderas por la construcción de nuevas defensas costeras, puertos deportivos u otras infraestructuras [42, 43].

Recientemente, se atribuyen las pérdidas a acontecimientos extremos como tormentas u olas de calor marinas. La acidificación o la hipoxia (reducción o agotamiento del oxígeno en las masas de agua) también pueden afectar a la estabilidad de estos ecosistemas de carbono azul o a algunos servicios ecosistémicos, si bien se cree que, en general, el impacto de estos procesos es relativamente menor [44].

*«A partir de las estimaciones globales de unos 3 millones de hectáreas cubiertas de praderas marinas y marismas saladas en Europa, las primeras cifras apuntan a que las reservas de carbono azul acumuladas por estos hábitats podrían representar hasta el 1,5-4 % del total global existente en hábitats costeros vegetados » [4, 40].*

**Tabla 1.** Reservas de carbono y CO<sub>2</sub> (tC ha<sup>-1</sup> a 1 m y tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>) y tasas de captura (C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) en el suelo por especies y hábitats de distinta temperatura. Los valores representados son medias y errores estándar. \*En los primeros 30 cm. \*\* En los primeros 10 cm.

Tipo de hábitat	Especies dominantes y condiciones de conservación	Ubicación	Media de reservas de C (tC ha <sup>-1</sup> ) a 1 m	Media de reservas de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> ) a 1 m	Tasa de captura de carbono (tC ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Tasa de captura de CO <sub>2</sub> (tC ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Referencias
 Praderas marinas	<i>Posidonia oceanica</i>	Andalucía	222,51 – 1.106,83	814,4 – 4.051	0,38 – 0,85	1,4 – 3,1	[22]
		Isla de Creta	51	186,66	—	—	[45]
	<i>Posidonia oceanica</i> mata muerta	Andalucía	200,96 – 290,82	735,5 – 1.064,4	0	0	[22]
		Hemisferio norte	23,1 – 351,7	84,55 – 1.287,22	—	—	[46]
	<i>Zostera marina</i>	Costa canadiense del Pacífico	13,42 ± 4,82	49,11 ± 17,64	0,029 – 0,396	0,11 – 1,45	[47]
		<i>Cymodocea nodosa</i>	Islas Canarias	86,20 ± 19,06*	315,49 ± 69,76*	—	—
	Isla de Creta		21	76,86	0,065	0,24	[45]
	Andalucía		21,74 – 28,47	79,6 – 104,2	0,03 ± 0,06	0,1 ± 0,2	[22]
<i>Halophila stipulacea</i>	Isla de Creta y mar Rojo	35	128,1	0,148	0,54	[45]	
	Limassol (Chipre), Creta occidental (Grecia)	5 ± 1**	18,35 ± 3,67**	0,074 – 0,283	0,27 – 1,04	[115]	
 Marismas saladas	Alta	Andalucía	78,36 – 134,64	286,8 – 492,8	0,18 – 0,24	0,66 – 0,89	[32]
	Media	Andalucía	46,7 – 156,56	171 – 573	0,54 – 1,125	1,98 – 4,58	[32]
	Baja	Andalucía	59,29 – 63,47	217 – 232,3	0,1 – 0,13	0,38 – 0,49	[32]
	—	Países Bajos	328 – 393	1.200 – 1.438	0,18 – 17,3	0,65 – 63,31	[49]
	—	Dinamarca	210 – 270,5	770 – 990	—	—	[50]
	—	Delta del Ródano (Francia)	731	2.677	—	—	[50]

### En marismas saladas en buen estado de Andalucía (sur de España)

Las reservas de carbono se han ido acumulando a lo largo del último siglo a razón de 38-458 g CO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup> de media; en las praderas marinas de *Posidonia oceanica*, la tasa es de 140-130 g CO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup>. Se estima que la cifra total global de enterramiento de carbono en marismas saladas y praderas marinas en Andalucía es de aprox. 61 000 tCO<sub>2</sub>año<sup>-1</sup> [22, 32].

© SEADAM / DREAMSTIME



## Marismas saladas

Los humedales costeros con marismas saladas son importantes ecosistemas costeros que suelen rodear el interior de los estuarios y las bahías con zonas intermareales de poca energía. Las marismas saladas atlánticas europeas se caracterizan por la presencia de praderas naturales que se desarrollan en terrenos arenosos y arcillosos y están sujetos a la fluctuación de las mareas en tramos más resguardados de la costa atlántica europea, desde la mitad norte de Portugal y en torno al mar del Norte [51]. Al sur, aparecen marismas saladas más características del Mediterráneo en costas resguardadas que se extienden por toda la cuenca mediterránea desde el litoral meridional de Portugal, donde están expuestas a influencias mareales mínimas [52] (fig. 6).

A lo largo de la última década, varios estudios han aportado estimaciones de la capacidad de almacena-

miento y absorción de carbono de algunos de estos humedales (tabla 1). Parece que las marismas saladas son muy eficientes a la hora de enterrar el carbono; no obstante, se observa una carencia de estudios sobre acumulación del carbono en marismas saladas de las regiones mediterráneas y europeas, en comparación con otros ecosistemas. En primer lugar, los datos relativos a la extensión de las marismas saladas y las reservas de carbono son poco homogéneos y existen extensas áreas de hábitats de marismas saladas en la región que no se han cartografiado. Algunas estimaciones globales indican que las marismas saladas del Mediterráneo se encuentran entre los ecosistemas más eficaces a la hora de capturar carbono, con una media 242,2 g C m<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup> o 888,1 g C m<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup> [53]; estas cifras, que son seis veces superiores a las de captura de carbono en turberas (26,6 g C m<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup> o 91,7 g CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>año<sup>-1</sup>), contrastan con las tasas de captura de

carbono a largo plazo en los suelos de las marismas saladas europeas (de media,  $151\text{g C m}^{-2}\text{año}^{-1}$  o  $554\text{g CO}_2\text{ m}^{-2}\text{año}^{-1}$ ) [54].

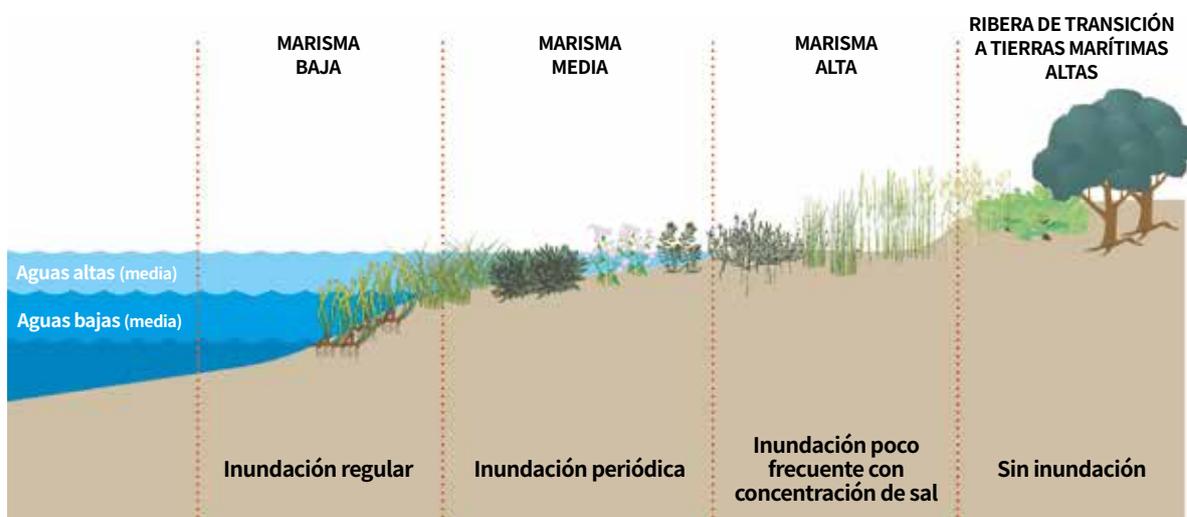
Sin embargo, las marismas saladas sufren también pérdidas críticas a causa de los trabajos de dragado, llenado, vaciado y construcción, y están particularmente amenazadas por la subida del nivel del mar como resultado del «estrés de costas». Algunas evaluaciones de hábitats europeos en 2017 [55] estimaron una reducción de un 13 % de media de la superficie de estos hábitats en el Mediterráneo a lo largo de los últimos 50 años, con una disminución de la calidad en todo el territorio (que afecta al 23-30 % del hábitat con una gravedad del 51 %). Además, el informe de perspectivas de los humedales mediterráneos<sup>2</sup> de 2018 destaca claramente las tendencias negativas a largo plazo que pueden empeorar el estado de los humedales y amenazar su futuro.

Las marismas saladas atlánticas de Europa también han visto reducida la superficie que ocupan en aproximadamente un 26 % a lo largo de los últimos 50 años;

además, una gran parte (más del 60 %) del área remanente está afectada con una gravedad relativamente elevada (58 %). El recién publicado informe de ciencia para la política de la CE confirma esta tendencia [56] y concluye que, de todos los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos de Europa, son los humedales los que se encuentran en peor estado.

Las marismas saladas son especialmente sensibles a la subida del nivel del mar, especialmente en aquellas ubicaciones donde las construcciones costeras y las pendientes elevadas limitan la migración hacia el interior o no se aportan suficientes sedimentos para apoyar la acreción. La reducción del aporte de sedimentos costeros y la modificación de la hidrodinámica del agua constituyen también causas frecuentes de degradación para estos ecosistemas, cuya pérdida a consecuencia del cambio climático y otros factores de presión podría comportar la liberación a la atmósfera de las ingentes reservas de carbono que estos ecosistemas han almacenado durante milenios [10].

**Figura 6:** Esquemas de clasificación de cinco zonas de vegetación en marismas saladas a lo largo del gradiente vertical de exposición a agua marina (frecuencia de inundación) [57]. Los símbolos de los diagramas son cortesía de la Red de Integración y Aplicación del Centro de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Maryland.



<sup>2</sup> <https://tourduvalat.org/en/actions/les-zones-humides-mediterraneennes-enjeux-et-perspectives-2-solutions-pour-des-zones-humides-mediterraneennes-durables/>

## CAPÍTULO 2: POLÍTICAS Y NUEVOS MECANISMOS DE GESTIÓN DE CARBONO





## POLÍTICAS Y NUEVOS MECANISMOS DE GESTIÓN DE CARBONO

La decisión por parte de 195 países de adoptar el **Acuerdo de París** en la XXI Conferencia de las Partes (CP) del 12 de diciembre de 2015 supuso un punto de inflexión histórico en los esfuerzos contra el cambio climático; en virtud de este, las naciones se comprometen a limitar el ascenso global de temperatura a mucho menos de 2 °C, con todos los esfuerzos centrados en limitarlo a 1,5 °C<sup>3</sup>. De este modo, se marcó un nuevo rumbo en el marco del cual los países participantes han adoptado objetivos de reducción de las emisiones que pasan por la transición hacia una economía baja en carbono, aprovechando la innovación de los sectores tecnológico, energético, financiero y de la conservación<sup>4</sup>.

A diferencia del Protocolo de Kioto adoptado casi dos décadas antes, el actual Acuerdo de París se centra notablemente en la adaptación y en los impactos del cambio climático. Además, reconoce el importante papel que desempeñan los ecosistemas marinos en la regulación del clima y en la absorción de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> [58].

Como parte del Acuerdo de París, las Partes firmantes se comprometen a presentar **contribuciones determinadas a nivel nacional** (NDCs, por sus siglas en inglés) de forma periódica, cada cinco años, en las que se indiquen sus estrategias nacionales para la acción climática; asimismo, deben presentar un proceso de revisión destinado a aumentar sus objetivos de forma continua (art. 4.3 y 4.9 del Acuerdo de París). Se solicita a los países que incluyan información relativa al alcance y la cobertura de sus esfuerzos de mitigación y adaptación, así como a sus enfoques metodológicos, incluidos aquellos utilizados para estimar y contabilizar las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y las eliminaciones (p. ej., directrices del IPCC de 2013 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: humedales). Las Partes pueden desarrollar las prioridades y las acciones de mitigación de sus NDC a partir de un conjunto de medidas que incluyan soluciones basadas en la Naturaleza; esto les ofrece la oportunidad de considerar más soluciones de este tipo que las que se presentaron en un principio, incluyendo el carbono azul como una oportunidad para abordar la brecha de emisiones [58].

Algunos países han incluido en sus contribuciones pasadas (anteriormente denominadas INDC, por sus siglas en inglés) acciones de mitigación relacionadas con el carbono azul, que se engloban en una amplia variedad de actividades que abarcan el almacenamiento de carbono oceánico y la protección, la replantación o la gestión de manglares, marismas saladas, praderas y otros ecosistemas marinos. Sin embargo, en vista de las notables capacidades de almacenamiento de carbono de estos ecosistemas, existen oportunidades de sobra para continuar explotando el potencial de mitigación de carbono de los ecosistemas de carbono azul con actividades de gestión, así como para informar de estos esfuerzos por medio de este mecanismo [58, 59].

*«La oportunidad de mitigación climática de los ecosistemas de carbono azul. [...] Si se restaurasen los humedales costeros a su extensión de 1990, tendrían el potencial de aumentar la captura anual de carbono en 160 Mt CO<sub>2</sub> año<sup>-1</sup>, lo que equivale a compensar la combustión de 77,4 millones de toneladas de carbón» [58].*

En su informe especial sobre «los océanos y la criosfera en un clima cambiante<sup>5</sup>» (SROCC, por sus siglas en inglés) publicado en 2019, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) reconoce también el valor de los ecosistemas de carbono azul de cara a los esfuerzos contra el cambio climático. Entre las principales medidas de adaptación propuestas, el informe incluye la restauración de los hábitats terrestres y marinos y la mejora de la gestión de los ecosistemas de carbono azul costero. La conservación de los ecosistemas intactos de carbono azul, como los humedales y las praderas marinas, se considera una de las medidas de gestión más efectivas para minimizar los cambios contraproducentes en las emisiones de gases de efecto invernadero y para proteger los servicios ecosistémicos existentes. Paralelamente, se menciona la restauración de los ecosistemas costeros, específicamente las marismas saladas mareales, las praderas y los bosques de manglares, como ejemplo que demuestra el

<sup>3</sup> El Acuerdo de París | UNFCCC

<sup>4</sup> El Acuerdo entró en vigor el 4 de noviembre de 2016.

<sup>5</sup> <https://www.ipcc.ch/srocc/>

potencial de las soluciones basadas en la Naturaleza de cara a la adaptación y a la mitigación del clima (fig. 7).

El desarrollo de este tipo de medidas contribuye no solo a reducir las emisiones que calientan y acidifican el océano, sino también a crear nuevos empleos, potenciar la resiliencia de las costas, favorecer la seguridad alimentaria y mejorar la calidad del agua y la salud de las personas.



**Figura 7:** Estándar global de NBS de la UICN. Relación entre la complejidad ecológica y la optimización de los servicios ecosistémicos, así como el nivel de ingeniería ecosistémica. (Adaptado de: Balian, Eggermont & Le Roux (2014)).

«La restauración de los ecosistemas costeros vegetados, como los manglares, las marismas mareales y las praderas marinas (**ecosistemas costeros de “carbono azul”**), pueden contribuir a la mitigación del cambio climático por medio de un aumento anual en la absorción y el almacenamiento de carbono de cerca del 0,5 % de las emisiones globales actuales (confianza media). Las medidas mejoradas de protección y gestión pueden reducir las emisiones de carbono de estos ecosistemas. En conjunto, estas acciones presentan otros muchos beneficios, como la protección contra tormentas, la mejora de la calidad del agua y la potenciación de la biodiversidad y los recursos pesqueros (alta confianza). Mejorar la cuantificación del almacenamiento de carbono y de los flujos de gases de efecto invernadero de estos ecosistemas costeros contribuirá a reducir la incertidumbre relativa a la medición, la verificación y la presentación de informes (alta confianza)» [60].

## Políticas europeas

A escala de la UE, se ha establecido un nuevo **Reglamento para el mecanismo de gobernanza de la Unión de la Energía** (Reglamento [UE] 2018/1999) con normas comunes de planificación, seguimiento y presentación de informes, con el fin de ayudar a los países europeos a alcanzar sus objetivos en materia climática y energética para 2030. El Reglamento tiene como objetivo garantizar que los esfuerzos de planificación y presentación de informes de la UE estén sincronizados con los ciclos de ambición contemplados por el Acuerdo de París. Además, incluye elementos para efectuar un seguimiento del progreso de ejecución de la legislación climática de la UE, como el **Reglamento de reparto del esfuerzo** y el **Reglamento UTCUTS** (uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura). El Reglamento también establece un mecanismo de supervisión de emisiones de gases de efecto invernadero y otra información climática para que los países de la UE puedan cumplir con sus obligaciones de presentación de informes en virtud de la CMNUCC y del Acuerdo de París.

En línea con estos esfuerzos y con los objetivos de Aichi para la biodiversidad, la Comisión Europea adoptó en mayo de 2020 la **estrategia para la biodiversidad** como uno de los regímenes de mayor impacto bajo el marco del **Pacto Verde Europeo**. Este ambicioso marco multilateral establece una serie de objetivos de biodiversidad con nuevas medidas que deben alcanzarse para 2030, que incluyen inversión en restauración y acciones de conservación en áreas protegidas para mejorar los ecosistemas debilitados y deteriorados, como los sumideros de carbono.

Estos esfuerzos contribuirán a la hoja de ruta para la conservación de la biodiversidad y las políticas de adaptación y mitigación climática en cada país y a nivel de la UE (p. ej., objetivos para humedales del Reglamento UTCUTS para el año 2026); asimismo, son importantes de cara al Pacto Europeo para el Clima para los objetivos climáticos de 2030 (véase más adelante), que propone aumentar el objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para 2030 hasta un 55 % (como mínimo) en comparación con 1990, incluyendo las emisiones y las eliminaciones.

## LOS MERCADOS DEL CARBONO: ANTECEDENTES Y PRINCIPIOS

Los mercados de carbono son una de las herramientas disponibles para abordar el problema del cambio climático; fueron creados inicialmente para permitir el intercambio de emisiones (o de medidas de reducción de emisiones expresadas en toneladas equivalentes dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>e) entre distintas entidades.

Existen dos tipos distintos de mercados de carbono: los **regímenes de límites máximos y comercio** (o regímenes de comercio de derechos de emisiones, RCDE) y los

**mecanismos de línea de base y crédito**, comúnmente denominados de compensación. Estos dos tipos de mercados funcionan de distinta forma y no tienen los mismos objetivos. A continuación, describimos cómo funcionan los distintos mercados de carbono y cuáles son los principales mecanismos de compensación en el mundo, con el objetivo de comprender su relación con el carbono azul y los objetivos de cara a las ambiciones climáticas. Algunos de los regímenes en curso se encuentran en revisión en el marco de los debates actuales con arreglo al Acuerdo de París.

### 2.1. Mecanismos de crédito de carbono en virtud de los tratados internacionales

La terminología relativa a las unidades de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) puede ser complicada. Los activos de carbono pueden clasificarse en dos categorías principales:

- **Unidades de emisión de carbono:** son unidades establecidas por una institución en el contexto de un esquema de límites máximos y comercio. Cada unidad, *per se*, no representa una reducción de las emisiones, sino el derecho a liberar GEI; cada unidad equivale a una tonelada de dióxido de carbono emitida (tCO<sub>2</sub>e) a la atmósfera. En función de la jurisdicción, también pueden denominarse indistintamente asignaciones, cuotas o cantidades; así ocurre en el caso de las unidades de cantidades asignadas del Protocolo de Kioto o con las asignaciones del Régimen de Comercio de Derechos de Emisiones de la UE (RCDE UE).
- **Unidades de reducción de emisiones de carbono:** también denominadas «unidades de eliminación», son establecidas por una autoridad o por un organismo independiente sin ánimo de lucro en el contexto de un esquema de línea de base y crédito. Estas unidades representan un rango de GEI expresado en el equivalente de dióxido de carbono (también tCO<sub>2</sub>e) reducido, evitado o captado en sumideros de carbono, en comparación con

una situación hipotética de base. Con frecuencia se las denomina «bonos de carbono» y se emiten para proyectos que hayan demostrado ser adicionales, reales, verificables, medibles, únicos y permanentes. En función de los estándares y las organizaciones de certificación de que se trate, a menudo se denominan también indistintamente como créditos, compensaciones, certificados o unidades de absorción de carbono; así ocurre con las reducciones certificadas de las emisiones del Mecanismo de Desarrollo Limpio del CMNUCC, las unidades verificadas de carbono del VCS y los certificados del Plan Vivo.

[El papel que desempeñan los estándares de certificación de carbono es de vital importancia para un esquema de línea de base y crédito.](#)

Los estándares de certificación de carbono establecen las normas por las cuales es posible conceder bonos de carbono a proyectos. Uno de los elementos centrales de este enfoque es la definición de una **situación hipotética de base**, que puede definirse como la situación con mayores posibilidades de darse si no se lleva a cabo el proyecto dado. Una vez establecida la situación más probable, se calculan las emisiones de GEI relativas a la misma y se comparan con las que propone el proyecto.

La diferencia entre la situación de base y la del proyecto refleja las emisiones reducidas, evitadas o captadas gracias al proyecto.

A fin de blindar la integridad medioambiental de los bonos de carbono y de garantizar que estos representen una reducción/prevenición/captación de emisiones que no sería posible sin las actividades o los proyectos propuestos, los estándares de certificación de carbono han establecido un amplio surtido de normas a las que deben atenerse los proyectos, así como de criterios que deben cumplir.

Los primeros estándares de certificación de carbono, surgidos del Protocolo de Kioto, fueron el Mecanismo de Desarrollo Limpio y la aplicación conjunta Sus normas abarcan:

- las etapas y los procesos de certificación;
- el desarrollo y la aprobación de metodologías de cuantificación y seguimiento de GEI;
- diversas reglas en materia de fechas de inicio de proyectos, escalas, propiedad de las reducciones de emisiones, salvaguardas, etc.;
- evaluaciones medioambientales y requisitos de consultas con las partes interesadas;
- los requisitos de aprobación del país receptor; y
- la acreditación de auditorías autorizadas para validar y verificar proyectos y reducciones de emisiones.

Las siguientes secciones proporcionan una visión general de las características de los mercados de carbono de cumplimiento regulado y voluntarios, así como del papel que desempeñan en los mismos los mecanismos de línea de base y crédito.

**Figura 8:** Vista general de las interacciones entre los mercados de carbono voluntarios y de cumplimiento regulado, incluyendo los anteriores con arreglo al Protocolo de Kioto (PK) y los nuevos en desarrollo en virtud del Acuerdo de París (AP). Adaptado de NewClimate Institute; Lambert Schneider.



## Mercados de carbono de cumplimiento regulado

Los mercados de carbono son mecanismos establecidos en virtud del Protocolo de Kioto (1997) e implementados a través de los Acuerdos de Marrakech (2001) para ayudar a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) a cumplir de forma asequible con sus respectivas obligaciones de reducción de las emisiones.

El Protocolo de Kioto define tres mecanismos de flexibilidad:

- el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL);
- la aplicación conjunta (AC);
- el comercio de derechos de emisiones (CDE).

El MDL y la AC son mecanismos de línea de base y crédito, mientras que el CDE es un instrumento de base mercantil, a menudo establecido bajo un esquema de límites máximos y comercio.

28

Dado que todos ellos se refieren a instrumentos diseñados para ayudar a las Partes firmantes a cumplir con sus obligaciones reglamentarias, estos mecanismos forman parte de lo que se conoce como mercado(s) de carbono de cumplimiento regulado (fig. 8). Un mercado de carbono de cumplimiento regulado impone objetivos de reducción de las emisiones y los instrumentos a los que pueden recurrir las organizaciones para tal fin, dentro de unos límites específicos de índole geográfica o sectorial.

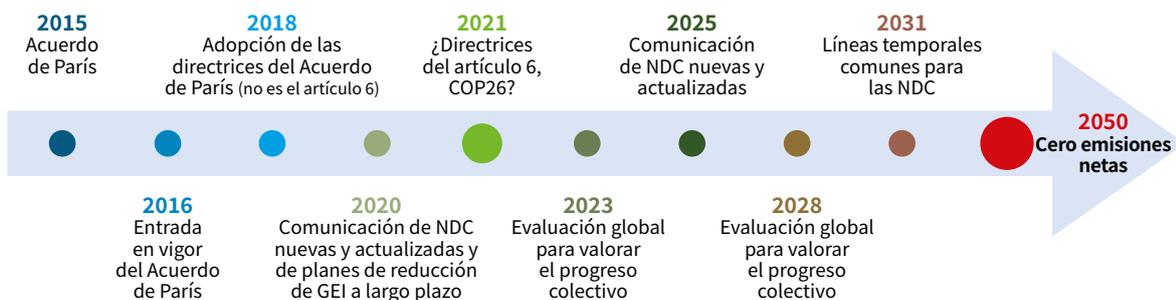
La finalización de estos mecanismos estaba prevista para finales de 2020, cuando debía entrar en vigor el nuevo Acuerdo de París. En el momento de la edición del presente manual, y habida cuenta de que el artículo 6 del Acuerdo de París no se encuentra completamente desarrollado, se han entablado debates acerca de la conveniencia de ampliar las operaciones del MDL con respecto al registro y la renovación de los períodos de acreditación de actividades de proyectos y programas de acciones cuyos períodos de acreditación comiencen a partir del 1 de enero de 2021, así como a la concesión de reducciones certificadas de las emisiones para reducciones o eliminaciones alcanzadas a partir del 1 de enero de 2021<sup>6</sup>.

## Mercados de carbono con arreglo al Acuerdo de París

En virtud del Acuerdo de París, muchos países de todo el mundo han adoptado objetivos climáticos y se han establecido dos nuevos mercados de carbono para sustituir a los tres que introdujo el Protocolo de Kioto. **El artículo 6 del Acuerdo** regula considerablemente estos mercados; los negociadores llevan debatiendo las normas detalladas de estos mecanismos desde 2016. A fecha de 2020, no se ha llegado a un acuerdo y las normas no están todavía plenamente desarrolladas, a pesar de que el tratado entra en vigor en enero de 2021.

El artículo 6 se divide para abarcar dos mecanismos de mercado distintos, que se rigen por el artículo 6.2 y el artículo 6.4 (este último recibe también el nombre de «Mecanismo de Desarrollo Sostenible» o MDS).

Figura 9: Vista general del proceso de implementación del Acuerdo de París, incluyendo el ciclo de actualización de NDC.



<sup>6</sup> <https://unfccc.int/news/the-cdm-executive-board-considers-cdm-beyond-2020>

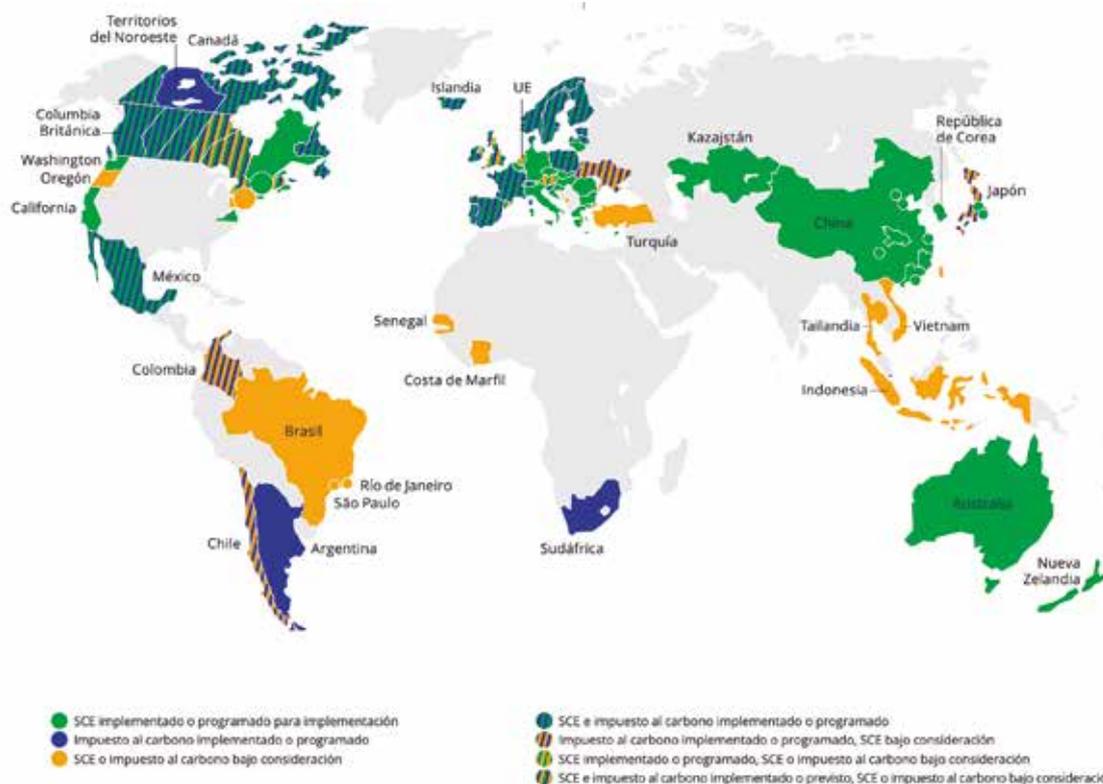
- **Artículo 6.2.** El artículo 6.2 establece un mercado de carbono que permite a los países vender las reducciones de emisiones que hayan alcanzado por encima de su objetivo. Estos créditos adicionales se denominan ITMOs, por su acrónimo en inglés (*Internationally Transferred Mitigation Outcomes*, «resultados de mitigación internacionalmente transferidos»).
- **Artículo 6.4.** El artículo 6.4 plantea un sistema distinto, mucho más similar al Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), con la diferencia de que no se limita a proyectos ejecutados en países de desarrollo. Con este mercado, se espera que los desarrolladores de proyectos reduzcan emisiones mediante acciones específicas en un país y puedan vender estas reducciones a otro país, otra compañía u otra persona. Este proceso requiere una mayor «gobernanza», es decir, más control por parte de un organismo encargado del establecimiento de normas detalladas y que verifique que los proyectos y los créditos cumplan con ciertos criterios.

### Comercio de derechos de emisiones

Las Partes sujetas a compromisos en virtud del Acuerdo de París han aceptado objetivos para la limitación o la reducción de las emisiones. Estos objetivos se expresan en términos de emisiones permitidas o cantidades asignadas a lo largo de los períodos comprometidos. Las emisiones permitidas se dividen en unidades de cantidades atribuidas (UCA). El comercio de derechos de emisiones, tal y como se establece en el artículo 17 del Protocolo de Kioto, permitía a aquellos países que disponen de unidades sobrantes (es decir, el cupo de cantidades que están autorizados a emitir pero que no han «agotado») la venta de este «exceso de capacidad» a países que ya han superado los niveles atribuidos (fig. 11).

A fin de estimular los compromisos a nivel nacional, los esquemas de comercio de emisiones se han establecido como instrumentos de política en materia de

**Figura 10:** Iniciativas de fijación de precios de carbono ejecutadas, planificadas y en consideración (SCE e impuestos sobre el carbono) en 2020. Fuente: Situación y tendencias de la fijación del precio del carbono.



cambio climático también a nivel nacional y regional. En el marco de esquemas de este tipo, los gobiernos establecen obligaciones en materia de emisiones para las entidades participantes. El mayor esquema de este tipo en funcionamiento es el RCDE UE.

En el momento de la edición, existen al menos 31 regímenes de comercio de derechos de emisiones (RCDE) en jurisdicciones regionales, nacionales y subnacionales<sup>7</sup>. La figura 10 ofrece una síntesis del estado y la naturaleza de estos esquemas.

### El régimen de comercio de derechos de emisiones de la UE

Como parte del Pacto Verde Europeo, la Comisión propuso en septiembre de 2020 aumentar los objetivos de reducción de emisiones de GEI para 2030 a, como mínimo, el 55 % en comparación con 1990, incluyendo las emisiones y las eliminaciones.

El marco 2030 de la UE para el clima y la energía incluye ahora objetivos y cometidos estratégicos a escala comunitaria para el período comprendido entre 2021 y 2030. Además de los objetivos clave en materia de energías

renovables y eficiencia energética, se deberá lograr una reducción del 40 % de GEI por medio del régimen de comercio de derechos de emisiones de la UE (RCDE UE), el Reglamento de reparto del esfuerzo con los objetivos de reducción de emisiones de los Estados miembros y el Reglamento de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS).

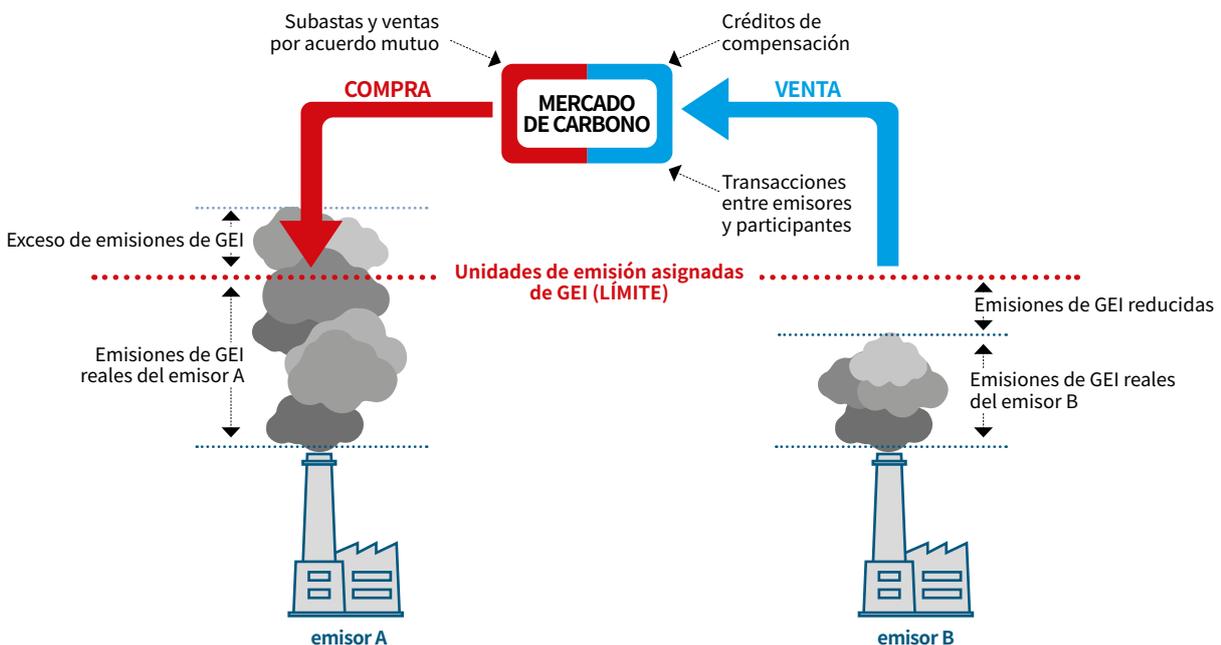
El RCDE UE es una piedra angular de las políticas de la UE para luchar contra el cambio climático, y es un instrumento clave para reducir las emisiones de GEI de forma rentable. Se trata del primer mercado importante de carbono y sigue siendo el mayor de todos.

El RCDE UE está operativo en 31 países (los 28 Estados miembros de la UE más Islandia, Liechtenstein y Noruega) y limita las emisiones de más de 11 000 instalaciones de la industria pesada que necesitan energía (centrales eléctricas y plantas industriales) y de aerolíneas activas entre ellos. Todo esto supone cerca del 45 % de las emisiones de GEI de la UE.

Con este nuevo objetivo para 2030, se adaptará la legislación climática con vistas a implementar el objetivo propuesto de reducción de al menos el 55 % de emisiones netas de gases de efecto invernadero.

30

**Figura 11: Sistema de comercio de emisiones a partir de unidades asignadas de emisiones de GEI.** Para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París en 2050, así como otros objetivos más ambiciosos, deberá reducirse este límite de emisiones de GEI con el paso del tiempo por medio de distintas medidas, a fin de reducir las emisiones en todos los sectores económicos.



<sup>7</sup> Fuente: Situación y tendencias de la fijación del precio del carbono (BM, 2020)



© NOVORODUS/PIVABAY

## 2.2. Mecanismos de comercio de carbono no cubiertos por el Acuerdo de París

31

### Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional

Paralelamente a los mercados de carbono de la CMNUCC, otra agencia de las Naciones Unidas, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), está desarrollando su propio mecanismo. En 2016, los Estados miembros de la OACI acordaron establecer el Plan de compensación y reducción de carbono para la aviación internacional (CORSIA), un mercado de carbono específicamente diseñado para aerolíneas<sup>8</sup>.

El objetivo de este mercado consiste en compensar el crecimiento de las emisiones de los vuelos internacionales por encima de los niveles de 2020. En 2020 se determinaron los niveles de emisión; las aerolíneas deberán compensar todo valor superior a los umbrales determinados por medio de la adquisición de compensaciones de carbono. Como establece el párrafo noveno de la Resolución de la Asamblea, el plan CORSIA se ejecutará por fases: comenzará con la participación voluntaria de los estados hasta 2026 y

culminará con la participación de todos los estados, salvo aquellos que estén exentos de cumplir requisitos de compensación.

Los países, en sus encuentros a través de la OACI, aún deben decidir qué créditos de compensación serán aplicables al plan CORSIA, apoyándose en las recomendaciones de un grupo de expertos (CAEP) bajo los auspicios del Consejo de la OACI. El Consejo ha aceptado que la compensación podría producirse a través de la compra y la cancelación de unidades de emisiones procedentes de diversas fuentes de reducción de emisiones y obtenidas por medio de proyectos certificados con arreglo a una amplia gama de normativas de certificación (fig. 12). Se ha aceptado el **estándar verificado de carbono (VCS)** (véase la sección relativa a los mercados de carbono voluntarios) como uno de los programas admisibles para la concesión de unidades de reducción de emisiones para el cumplimiento del plan CORSIA. Son admisibles la mayoría de los proyectos acogidos al programa VCS, incluidos aquellos que emplean la **metodología para la recuperación de praderas marinas y humedales mareales**.

<sup>8</sup> [https://www.icao.int/environmental-protection/pages/a39\\_corsia\\_faq2.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/pages/a39_corsia_faq2.aspx)

## 2.3 Mercados de carbono voluntarios

Los mercados de carbono voluntarios se han desarrollado de forma paralela a los de cumplimiento regulado. Las diferencias de mayor calado entre ambos tipos se detallan a continuación.

### Naturaleza de los participantes

Los participantes en la gran mayoría de mercados de cumplimiento regulado son las industrias que hacen un uso intensivo del carbono. Es el caso de instalaciones productoras de energía eléctrica, cerámica, vidrio y material siderúrgico, así como de compañías aéreas. Todas ellas requieren un uso de energía muy elevado. Los participantes en los mercados de carbono voluntarios son organizaciones de todo tipo (compañías privadas, ONG, agencias gubernamentales u organismos internacionales). Por lo general, se trata de organizaciones que no participan en ningún mercado de cumplimiento regulado, pero buscan reducir y compensar sus emisiones de forma voluntaria. Entre los primeros agentes activos en este tipo de mercados se encuentran algunos grandes bancos, compañías de seguros y empresas jurídicas.

### Estándares de certificación

En los mercados de carbono de cumplimiento regulado que permiten mecanismos de línea de base y crédito, es una autoridad quien define los estándares de certificación permisibles para verificar el cumplimiento. Por lo general, se trata de una lista muy restrictiva de estándares permitidos. Por ejemplo, el RCDE UE solo admite bonos de carbono del MDL y la AC, avalados por la CMNUCC.

Los mercados de carbono voluntarios no están regulados; por esta razón, los estándares de certificación gozan de una flexibilidad mucho mayor. Si bien es cierto que la mayoría de los bonos de carbono proceden de proyectos certificados bajo estándares de alta credibilidad, se utiliza una variedad mucho más diversa de esquemas de certificación. Se emplea el MDL, así como el estándar verificado de carbono (VCS), la certificación *Gold Standard*, el Plan Vivo, el Registro Americano de Carbono y la Reserva

de Acción Climática. En principio, los estándares voluntarios se desarrollaron para ofrecer esquemas de certificación más rápidos y menos exigentes en términos de recursos para proyectos de reducción de emisiones. Todos ellos se basan en los principios y, ocasionalmente, en las reglas del MDL.

### Volúmenes y valores

El volumen comercializado e intercambiado en los mercados de carbono de cumplimiento regulado y voluntarios es otro factor que los diferencia claramente. En 2019, se utilizaron cerca de 70 millones de bonos de carbono en los mercados voluntarios. Dado que los mercados de carbono voluntarios son menos transparentes, se dispone de poca información relativa a los volúmenes de comercio; no obstante, teniendo en cuenta que los bonos no suelen cambiar de manos más de tres veces (es decir, son objeto de dos transacciones comerciales), se estima que el volumen comercializado alcanza los 104 millones de unidades de compensación de carbono. Ese mismo año, en el RECD UE se comerció con nada menos que 9000 millones de asignaciones<sup>9</sup>. Esto supone que los mercados de carbono voluntarios son 86 veces más pequeños que el RECD UE por sí solo.

### Motivación de los compradores

La única razón que lleva a las organizaciones a participar en los mercados de cumplimiento regulado consiste en cumplir con las exigencias de la legislación jurisdiccional.

En cambio, la variedad y la diversidad de organizaciones activas en los mercados de carbono voluntarios se refleja en la panoplia de motivaciones que ofrecen las compensaciones de carbono. En torno a un tercio de los compradores declara adquirir compensaciones de carbono a raíz de un sentido de la responsabilidad; el 22 %, por cuestiones de desarrollo de la marca; el 13 %, por motivos de diferenciación de mercado; el 9 %, por el compromiso de los empleados, y el resto por razones de precumplimiento, internalización del coste del carbono o fines de mitigación de riesgos<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Fuente: Informe de situación del RECD UE (ERSCT, Wegener Center, BloombergNEF y Ecoact, 2020)

<sup>10</sup> Fuente: Business Leadership on Climate Action, Drivers and Benefits of Offsetting [Liderazgo empresarial en la lucha contra el cambio climático, estímulos y beneficios de las compensaciones] (ICROA - Alianza Internacional de Reducción y Compensación de Carbono, 2017)



Voluntarios plantando manglares en la isla de Phuket (Tailandia) como ejemplo de un posible proyecto de carbono azul.

### Preferencias de los compradores

Motivados por la necesidad de cumplir sus compromisos al precio más asequible, los compradores en el mercado de carbono de cumplimiento regulado suelen optimizar sus estrategias de compra de asignaciones o compensaciones de carbono al menor precio posible. Un porcentaje mínimo de ellos también tiene interés en adquirir compensaciones de carbono de proyectos en localizaciones específicas, o en disponer una pequeña parte de compensaciones con impacto social. En cambio, las organizaciones activas en los mercados de carbono voluntarios buscan prioritariamente compensaciones de carbono que se ajusten a sus necesidades y a su presupuesto y que además ofrezcan beneficios sociales y medioambientales más allá de la reducción de emisiones (p. ej. alivio de la pobreza, conservación de la biodiversidad, etc.)<sup>11</sup>

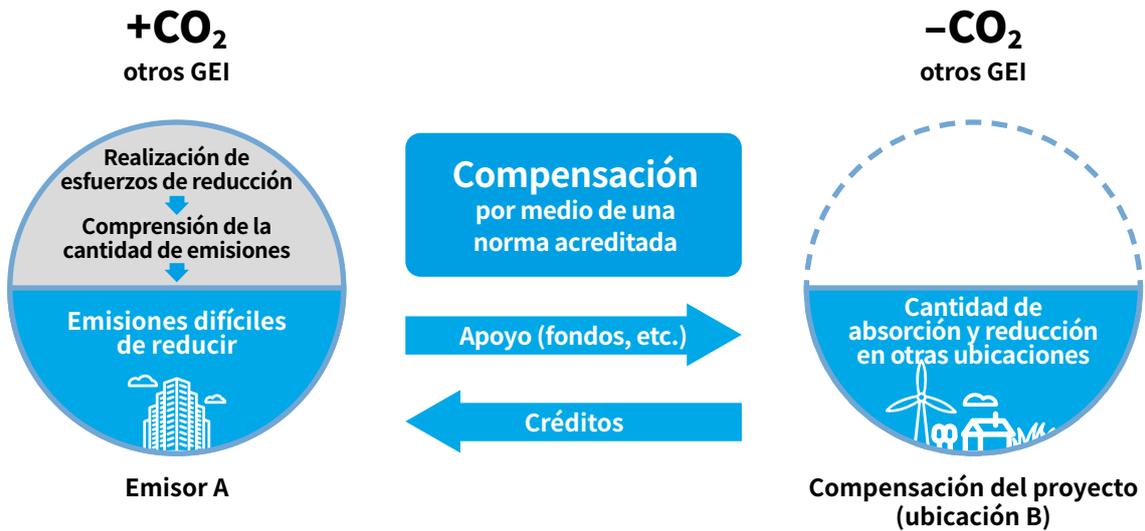
### Precios

Los mercados de carbono de cumplimiento regulado ofrecen un foro de comercio y niveles de precios transparentes. Así pues, hay un precio único para cada tipo de unidad de emisión de GEI. En el RECD UE, las asignaciones de carbono (p. ej. asignaciones de la Unión Europea) han fluctuado entre 8 y 30 €, mientras que los bonos de carbono (p. ej. reducciones certificadas de las emisiones) han oscilado entre 0,15 y 25 €.

Los mercados de carbono voluntarios se han ido desarrollando de forma paralela a los de cumplimiento regulado para ofrecer proyectos a menor escala reduciendo los costes de las transacciones. Como resultado, han surgido numerosos proyectos interesantes a pequeña escala. En estos mercados, los bonos de carbono se perciben en menor medida como mercancías, y lo que cuenta más son los proyectos subyacentes. Los precios oscilan entre 0,35 y 60 € aprox.; puede haber tantos precios como transacciones o proyectos.

<sup>11</sup> Fuente: Estado de los mercados de carbono voluntarios, 2016 (Forest Trends, 2016)

**Figura 12: La compensación de carbono permite equilibrar los impactos climáticos** (p. ej., de la actividad empresarial) tras los esfuerzos de reducción, y compensan las emisiones producidas a través de la reducción de CO<sub>2</sub> (y otros GEI) en otras ubicaciones.



### Impulsores de los precios

Los precios de las diversas unidades de emisión de GEI en los mercados de carbono de cumplimiento regulado son múltiples y dependen de la estructura de los propios mercados. Algunos de los impulsores más comunes son el precio de la energía, el clima, la emisión y los límites de unidades de reducción de carbono, los niveles de producción, los rendimientos económicos y las políticas interrelacionadas (p. ej. sobre eficiencia energética).

En los mercados de carbono voluntarios, cada transacción se efectúa de forma extraoficial y los precios dependen de la disposición del comprador, la voluntad de aceptación del vendedor y el equilibrio entre la oferta y la demanda.

### **Iniciativas domésticas de compensación en Europa**

Hasta la entrada en vigor del Acuerdo de París, la aplicación conjunta (AC) del Protocolo de Kioto ha permitido el establecimiento de proyectos certificados de carbono en Europa. Se ha permitido la emisión de URE en sectores no cubiertos por el inventario nacional de países receptores y siempre que los gobiernos de estos han estado dispuestos a cancelar sus propias unidades de cantidades atribuidas para efectuar los ajustes correspondientes. En virtud de este mecanismo, se han registrado 231 proyectos (excluyendo a Rusia y Ucrania). **En los países de la región mediterránea de la UE (España, Francia, Italia y Grecia), se han registrado únicamente 20 proyectos** (17 en Francia y 3 en España), y ninguno de ellos relacionado con ecosistemas marítimos.

A lo largo de los últimos años, se han ejecutado iniciativas en materia de compensaciones domésticas de carbono principalmente en Austria, Bélgica, Francia, Alemania, Países Bajos, Suiza, el Reino Unido y España. Este aumento del interés se debe a la creciente disposición de las organizaciones para com-

pensar sus emisiones con proyectos locales, en vez de emprender proyectos en países en desarrollo con los que no tienen relación. Sin embargo, los mercados no pueden satisfacer esta demanda en la actualidad, principalmente debido a problemas de doble cuantificación y al precio real de los créditos de carbono.

El Reino Unido ha desarrollado el *Woodland Carbon Code* (código de carbono forestal) y el *Peatland Carbon Code* (código de carbono de turberas), Francia ha desarrollado la etiqueta *bas-carbone* (bajo carbono), Alemania ha recurrido a *MooreFutures*, Suiza se ha valido de atestaciones nacionales (*Swiss attestations*) y España ha establecido proyectos de absorción de CO<sub>2</sub><sup>12</sup>.

En 2020, la etiqueta francesa de bajo carbono (*bas-carbone*) ha estado preparando el desarrollo de una metodología relacionada con los manglares para permitir que las compañías que deseen compensar sus emisiones de CO<sub>2</sub> puedan financiar proyectos futuros bajo los auspicios del Ministerio francés de Transición Ecológica e Inclusión. En los próximos años, podrían aparecer y ser compatibles futuros mecanismos para otros hábitats de carbono azul.

El programa voluntario español de compensación de carbono (registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción) incluye únicamente proyectos de reforestación/repoblación y tiene un alcance discreto, ya que consta de 42 proyectos por valor de un volumen (*ex-ante*) de 123 000 tCO<sub>2</sub>e. Otra iniciativa española que facilita la adquisición de bonos de carbono es el Fondo de Carbono para una Economía Sostenible (FES-CO<sub>2</sub>), en virtud del cual el gobierno adquiere reducciones verificadas de las emisiones a partir de proyectos climáticos domésticos avalados por el Fondo para promover la acción privada encaminada a la reducción de emisiones en sectores ajenos al RECD.

En España, se han desarrollado el mercado de carbono voluntario de la Comunidad Valenciana y el Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones (SACE), que presentan un potencial interesante para que proyectos domésticos de carbono se traduzcan en bonos de carbono.

Foro de debate con Estados miembros de la UE y partes interesadas acerca del papel que desempeñan estos ecosistemas marinos y costeros en la adaptación y la mitigación del cambio climático. Evento organizado por la UICN y el Intergrupo del Parlamento Europeo sobre cambio climático, biodiversidad y desarrollo sostenible (2018).



<sup>12</sup> Fuente: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/organizaciones-proyectos.aspx>

### Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones

El Sistema Andaluz de Compensación de Emisiones (SACE)<sup>13</sup>, desarrollado con arreglo a la legislación regional en materia de cambio climático (Ley 8/2018, artículo 50; Decreto 2/2020), es una iniciativa voluntaria que proporciona a las empresas privadas una oportunidad de participar activamente en la mitigación del cambio climático. En el marco de esta iniciativa, las empresas se comprometen a:

- auditar sus emisiones de GEI;
- reducir su cantidad; y
- compensar el resto de las emisiones.

Las compensaciones planeadas con arreglo al SACE se llevarán a cabo por medio de proyectos de repoblación, reforestación y conservación de bosques existentes, ecosistemas costeros, praderas marinas y humedales, y también encaminados a conservar o aumentar el contenido de materia orgánica en los suelos de los campos forestales o agrícolas. Este mecanismo genera la posibilidad de compensar emisiones de CO<sub>2</sub> por medio de la ejecución de estos tipos de proyectos que, por primera vez, incluyen **los relacionados con el carbono azul**. Las emisiones capturadas se denominan unidades de absorción (UDA). Se prevé que los proyectos de compensación se desarrollen en el marco del Plan Forestal Andaluz; estos deberán proteger la biodiversidad del legado forestal andaluz, emplear un sistema de gestión forestal sostenible y conservar zonas naturales protegidas. La Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio aprobará un catálogo de proyectos de compensación, que deberá incluir aquellos que cumplan con los requisitos necesarios en materia de admisibilidad, adicionalidad y sostenibilidad de conformidad con el Plan Forestal Andaluz, así como una descripción de sus características y de su ubicación. Además, las UDA certificadas por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio no se incluirán en el inventario nacional, a fin de evitar la doble contabilidad.

El desarrollo normativo del SACE, pendiente de aprobación, establecerá las condiciones para la inscripción de proyectos de compensación de carbono en el registro. Establecerá normas generales para la compensación de proyectos (p. ej., los requisitos del estándar aplicado) e incorporará un plan de gestión del proyecto que garantice, al menos durante el período establecido de permanencia, el éxito de las acciones y el mantenimiento de las reservas de carbono generadas. Además, los proyectos de compensación de carbono de este registro deben garantizar la conservación de las reservas de carbono durante el período mínimo de permanencia del proyecto definido, así como presentar información sobre el estado del mismo de forma periódica durante su ciclo de vida, de forma que sea posible calcular y certificar las UDA.

Existen nuevos estándares de carbono azul en desarrollo como parte de estos nuevos mecanismos<sup>14</sup>.

### **El problema especial de la doble cuantificación**

Dado que los países europeos contabilizan la mayoría de sus emisiones de GEI en sus respectivos inventarios nacionales de GEI, toda reducción de emisiones que tiene lugar dentro de los límites geográficos y sectoriales de sus inventarios se contabilizan a nivel nacional. Toda entidad tercera a cargo de un proyecto de reducción de emisiones de GEI abarcado por el inventario nacional del país receptor solo podrá reclamar como propias las reducciones si se han deducido del inventario nacional. Por esta razón, no es posible que una organización pretenda valerse del desarrollo de proyectos de carbono en países europeos para compensar sus propias emisiones.

<sup>13</sup> <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/pacc/>

<sup>14</sup> <http://life-blunatura.eu/es/inicio/>

## 2.4. Principios de estructuración

La CMNUCC ha establecido los principios que deben cumplir las reducciones de emisiones de GEI para poder materializarse en bonos de carbono. Todos los estándares de carbono existentes aplican estos principios. Cada unidad de reducción de emisiones debe ser:

- **adicional:** los ingresos procedentes de la venta de créditos de carbono constituyen un factor determinante en la ejecución del proyecto. La supervivencia de este depende, hasta cierto punto, de la capacidad del desarrollador de vender estos créditos de carbono. En otras palabras, esto supone que el proyecto no podría haber surgido si no hubiese contado con el apoyo financiero de un esquema de compensación. A este concepto se le denomina «adicionalidad»;
- **real:** las reducciones de emisiones deben haber ocurrido de hecho, es decir, debe existir una reducción de emisiones vinculada a las compensaciones de carbono y que sean atribuibles al resultado del proyecto ejecutado;
- **verificable y auditable:** las reducciones de emisiones deben poder calcularse con rigor científico, y deben ser supervisadas y auditadas. Para ello, deben existir metodologías de cálculo y supervisión que sean apropiadas al contexto y a la tecnología correspondientes;
- **permanente:** las emisiones reducidas o evitadas deben permanecer con el tiempo y no deben volver a emitirse a la atmósfera a consecuencia del proyecto en cuestión en un momento posterior;
- **única:** cada crédito de carbono debe corresponder a una única tonelada de CO<sub>2</sub>e, lo que supone también que deben ponerse en marcha procesos para evitar la doble cuantificación.

Estos principios se reflejan en los requisitos de diversos estándares voluntarios de carbono.



© ESA NIEBLA / PIXABAY

### CERTIFICADOS

Los proyectos están validados y verificados con arreglo a una norma de reconocimiento internacional.

### REALES

Las reducciones de emisiones son medibles y permanentes.

### ADICIONALES

Las reducciones de emisiones no habrían tenido lugar sin las actividades del proyecto.

### INDEPENDIENTEMENTE VERIFICADOS

Las actividades del proyecto y los datos de impacto están verificados por auditores terceros independientes.

### ÚNICOS

Los créditos de carbono no son contabilizados ni reclamados por otra parte.

### RASTREABLES

Todos los impactos certificados se hacen constar con transparencia en un registro público.

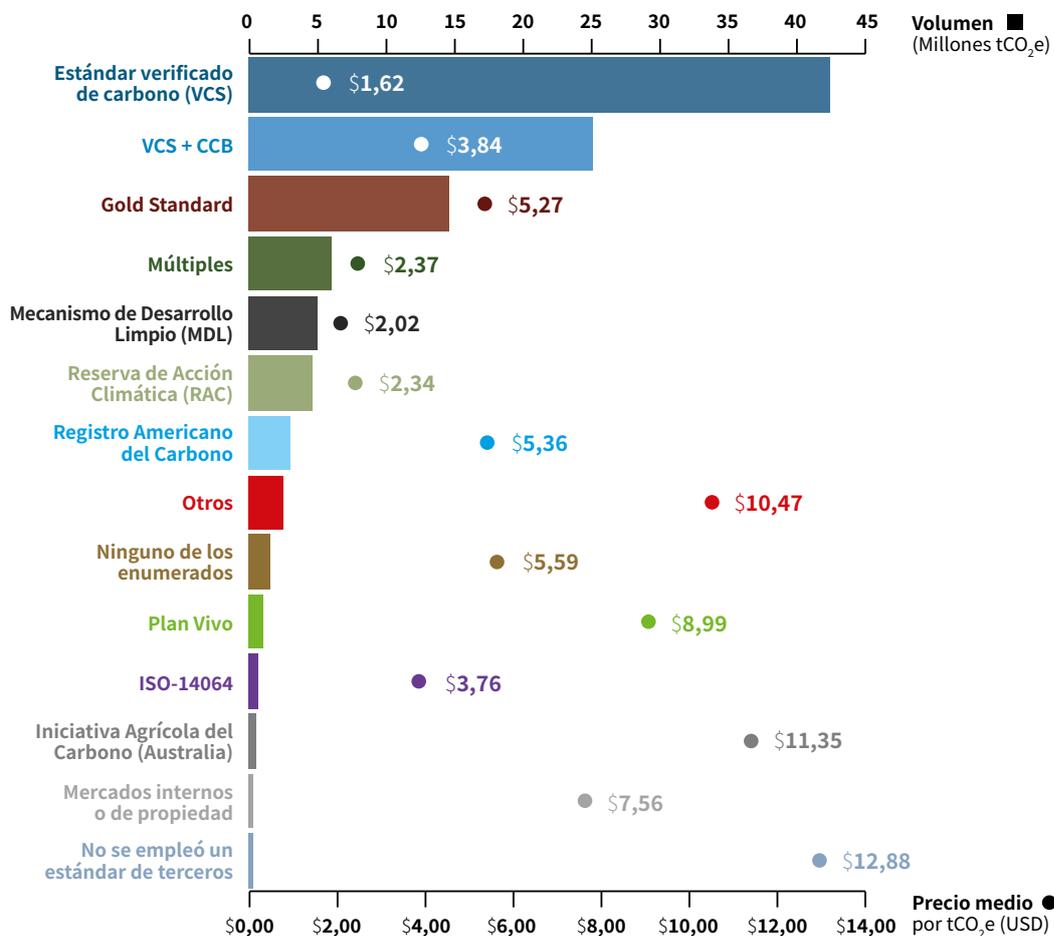
## 2.5. Estándares internacionales de carbono voluntarios

Los bonos de carbono vendidos en los mercados de carbono voluntarios suelen ser emitidos por siete estándares de certificación, tal y como se muestra en la figura 13.

Estos estándares son los siguientes:

- El **estándar verificado de carbono (VCS)** fue establecido en 2005 por The Climate Group, la IETA y el Foro Económico Mundial (posteriormente se unió el WBCSD), en representación de grupos de intereses privados. Desde 2018, Verra es la organización que posee y gestiona el VCS. Con el tiempo, se ha convertido en el estándar de preferencia para energías renovables y actividades relacionadas con el uso de la tierra, en especial para el programa de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de los bosques (REDD). Si bien la mayoría de las metodologías del MDL y la RAC pueden emplearse en el marco del VCS, Verra ha desarrollado 42 metodologías propias.
- La certificación **Gold Standard (GS)** fue establecido en 2003 por WWF, SouthSouthNorth y Helio International. Inicialmente concebido como un estándar de certificación con beneficios adicionales

Figura 13: Cuota de mercado de los estándares del mercado de carbono en 2019<sup>15</sup>.



<sup>15</sup> Fuente: Estado de los mercados de carbono voluntarios, 2019 (Ecosystem Market Place. Forest trends).

para el MDL, se rediseñó en 2006 para que pudiese otorgar sus propios bonos de carbono y orientarse hacia los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Ha desarrollado 20 metodologías propias y es el estándar de preferencia para proyectos orientados a la comunidad. Ha establecido asociaciones con Fairtrade International y el Consejo de Administración Forestal (FSC), y recibe apoyos de una extensa red de ONG. En 2017, la Fundación GS armonizó sus normas y principios con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y lanzó la certificación *Gold Standard* para los objetivos globales (GS4GG). Recientemente, GS ha lanzado una nueva metodología marco para el aseguramiento de créditos de carbono (para suelos), con distintos modelos de actividades y la posibilidad de adoptar múltiples enfoques fiables para calcular las tasas de captura.

- El **Mecanismo de Desarrollo Limpio** es el estándar de carbono de referencia desarrollado por el CMNUCC. Inicialmente diseñado para los mercados de carbono de cumplimiento regulado, los bonos de carbono que emite se emplean también en los mercados de carbono voluntarios. El CMNUCC ha desarrollado más de 200 metodologías.
- La **Reserva de Acción Climática** se creó en 2001 como el Registro de Acción Climática de California. Aunque, en un principio, se concibió para estimular las acciones voluntarias por todo el territorio de EE. UU., se utiliza activamente en el marco del esquema de límites máximos y comercio de California. Ha desarrollado más de 20 metodologías (denominadas «protocolos»), con especial atención a EE. UU. y México. Este estándar consta de un enfoque en la adicionalidad más normalizado y de más alto nivel, y se centra en los ámbitos del metano de las minas de carbón, el ganado, la silvicultura, los gases de vertedero y la agricultura.
- La norma **ISO-14064-2** fue publicada en 2006 por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Especifica principios, requisitos y directrices a nivel de proyecto para la cuantificación, el seguimiento y la presentación de informes de las actividades concebidas para reducir las emisiones o aumentar la remoción de GEI. Incluye requisitos para la planificación de un proyecto relacionado con GEI, la identificación y la selección de fuentes, depósitos y reservorios de GEI relativos al proyecto y a la situación de base, la supervisión, la cuantificación, la documentación

y la presentación de informes sobre el rendimiento de proyectos relacionados con GEI, así como para la gestión de la calidad de los datos. La ISO no emite ni materializa bonos de carbono en un registro como otros muchos estándares; en la actualidad se utiliza sobre todo en países específicos como, p. ej., Canadá.

- El **Registro Americano de Carbono** (ACR, por sus siglas en inglés) fue establecido en 1996 en el marco del Fondo Fiduciario de Recursos Medioambientales del Fondo para la Defensa Ambiental, una ONG que fomenta las soluciones basadas en el mercado. En 2007, se relanzó la ACR con una nueva identidad comercial y un enfoque principalmente centrado en proyectos localizados en EE. UU. y basado en la norma ISO 14064.
- El estándar **Plan Vivo** es un programa para pequeños propietarios y comunidades del entorno rural que dependen de recursos naturales para su subsistencia. Fue desarrollado por el Centro de Gestión de Carbono de Edimburgo en colaboración con El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), la Universidad de Edimburgo y otras organizaciones locales. Aunque el origen del Plan Vivo data de 1994, en 2008 se articuló una versión plenamente desarrollada del estándar bajo los auspicios de la Fundación Plan Vivo. Las actividades admisibles para la generación de certificados del Plan Vivo son las relacionadas con la reforestación y la agrosilvicultura, la conservación y la restauración de los bosques y la prevención de la deforestación. Los proyectos del Plan Vivo son gestionados por las propias comunidades; son ellas las que deciden qué actividades relativas al uso de la tierra (p. ej., rodales, agrosilvicultura, conservación forestal) revisten mayor valor e interés y son las más adecuadas para combatir las amenazas que afectan a los ecosistemas locales.

Aparte de estos organismos de certificación que emiten bonos de carbono, existen otros estándares adicionales que son relevantes para los mercados de carbono; se les suele denominar «estándares de cobeneficios» y han establecido un conjunto de requisitos que deben cumplir los proyectos relacionados con el carbono de cara a sus beneficios sociales, humanos, financieros y para la adaptación y la biodiversidad. Los dos más habituales son los siguientes:

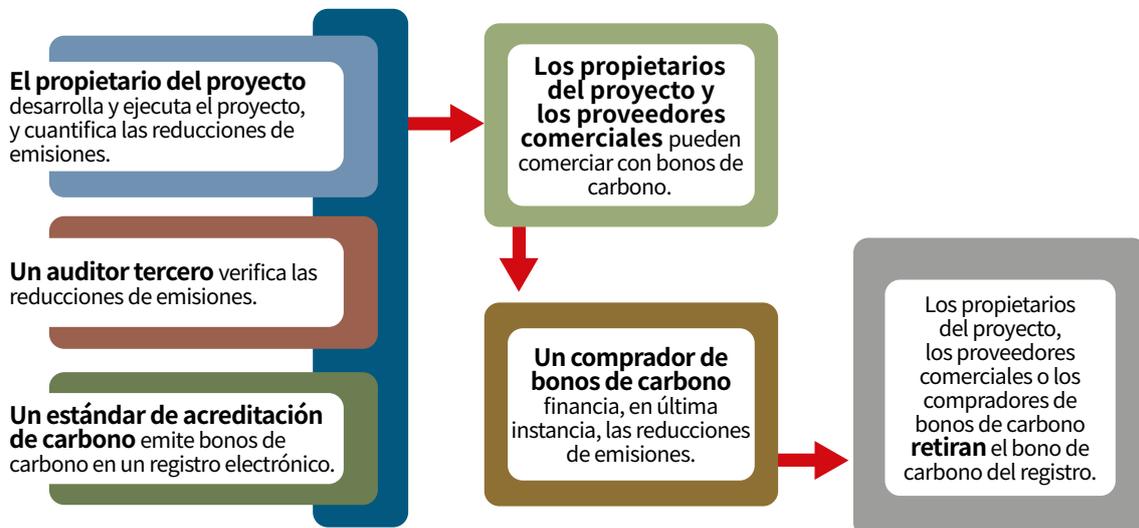
- Los estándares de Clima, Comunidad y Biodiversidad (CCB) fueron establecidos en 2005 por varias ONG,

incluidas CARE, The Nature Conservancy y la Alianza para Bosques. Estos estándares no certifican reducciones de emisiones, sino que fomentan la integración de enfoques de mejores prácticas y beneficios múltiples en el diseño y la ejecución de proyectos. Los estándares CCB tienen como objetivo: (i) identificar proyectos simultáneamente enfocados a combatir el cambio climático, apoyar a pequeños propietarios y comunidades locales y conservar la biodiversidad; (ii) promover la excelencia y la innovación en el diseño y la ejecución de proyectos; y (iii) mitigar los riesgos para inversores y compradores de compensaciones e incrementar las oportunidades de financiación para desarrolladores de proyectos. Los estándares CCB se puede aplicar a cualquier proyecto de gestión de la tierra, incluyendo aquellos que reducen las emisiones de GEI relacionadas con la deforestación y de la degradación de los bosques o con la degradación de otros ecosistemas que se haya podido prevenir.

- El **estándar SOCIALCARBON** fue creado en el año 2000 por Ecologica Institute, una ONG brasileña que certifica proyectos de reducción de carbono por sus contribuciones al desarrollo sostenible. El hexágono del estándar SOCIALCARBON se emplea para medir de forma individual seis aspectos de la sostenibilidad de los proyectos: carbono, biodiversidad, y componentes sociales, financieros, humanos y naturales. Los proyectos establecen un plan de gestión similar al de la norma ISO con el objetivo de continuar mejorando en todos esos aspectos a lo largo de toda la línea temporal del proyecto.

Estos dos estándares suelen utilizarse principalmente en combinación con el VCS. Mientras que los estándares CCB está adaptado para proyectos relacionados con el uso de la tierra, SOCIALCARBON se aplica normalmente a proyectos de sustitución de combustibles y de energías renovables.

**Figura 14:** Resumen de un ciclo estándar de carbono voluntario. Adaptado de New Climate Institute; Lambert Schneider.



## COMERCIALIZACIÓN DE RVE/ITMO

Existen dos tipos principales de transacciones en los mercados de carbono: ventas a plazo y ventas ocasionales.

### Ventas a plazos

Las ventas de este tipo pueden corresponderse con la venta de:

- reducciones de emisiones *ex-ante* (no emitidas), antes de que estas se produzcan; o
- reducciones de emisiones *ex-post* (emitidas) que se hacen efectivas meses o años después de su autorización y su convenio.

Las ventas a plazo son las más complejas, ya que es preciso negociar un amplio número de términos. Las cláusulas deben abarcar:

- las cantidades de compra/venta (p. ej. cantidades fijas o variables, compromiso firme u opciones para comprar o vender);
- el/los precio(s) pagadero(s) (p. ej. fijos o indexados en función de cantidades u otros parámetros);
- los términos de pago (p. ej. pagos por adelantado o a la entrega);
- la entrega (incluyendo disposiciones para afrontar posibles casos en los que el vendedor no esté en condiciones de cumplir con la misma o la cantidad entregada supere o no alcance lo acordado);
- la asignación de los costes a las partes implicadas (p. ej. costes de registro o de otorgamiento);
- las condiciones de registro y cancelación (p. ej. si el comprador dispone de su propio registro o si los créditos deben ser cancelados por él, y de qué manera);
- las condiciones de terminación;
- la jurisdicción aplicable y los términos de resolución de disputas, especialmente si la parte compradora y

- la vendedora no tienen su sede en el mismo país;
- los impuestos incluidos y no incluidos;
- los requisitos de facturación;
- los derechos de exclusividad o de preferencia para el proyecto o para el siguiente lote de bonos que se emitirá;
- el posible requisito de que el vendedor no pueda vender los bonos comercializados a otro comprador;
- los requisitos de contenidos de marketing del comprador; y
- las condiciones para las visitas en el emplazamiento.

### Ventas ocasionales

La práctica más común es que (i) el vendedor transfiera los bonos de carbono al registro del comprador y, a continuación, este pague por los bonos transferidos (fig. 14). Algunas alternativas incluyen (ii) el caso contrario, en el que el comprador paga primero y el vendedor realiza la transferencia posteriormente, o (iii) el uso de una cuenta de garantía, que implica que el comprador abona el coste de los bonos de carbono en una cuenta que queda bloqueada hasta que recibe los bonos adquiridos.

En función de la opción de transacción escogida, el riesgo puede recaer sobre el comprador (opción ii) o sobre el vendedor (opción i); en ambos casos, es preciso que los contratos recojan disposiciones relativas a este riesgo. El contrato deberá considerar, como mínimo, los siguientes aspectos:

- las cantidades objeto de compra/venta;
- el/los precio(s) pagadero(s);
- los términos de pago (p. ej. retrasos en los pagos);
- las condiciones de registro y cancelación (p. ej. si el comprador dispone de su propio registro o si los créditos deben ser cancelados por él, y de qué manera);
- las condiciones de terminación;
- la jurisdicción aplicable y los términos de resolución de disputas, especialmente si la parte compradora y la vendedora no tienen su sede en el mismo país;
- los impuestos incluidos y no incluidos;
- los requisitos de facturación;
- los derechos de exclusividad o de preferencia para el proyecto o para el siguiente lote de bonos que se emitirá;
- los requisitos de contenidos de marketing del comprador; y
- las condiciones para las visitas en el emplazamiento.



## CAPÍTULO 3:

# EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD O LA ADMISIBILIDAD DE PROYECTOS DE CARBONO





## EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD O LA ADMISIBILIDAD DE PROYECTOS DE CARBONO

No todos los proyectos están en condiciones de rendir y vender bonos de carbono; además, no siempre tiene sentido registrar un proyecto para la obtención de un estándar de certificación. Tal es el caso especialmente cuando los recursos necesarios para emitir y vender bonos de carbono sobrepasan o son equivalentes a los ingresos generados por la venta de dichos bonos. Por este motivo, resulta esencial que los proponentes sean conscientes de la admisibilidad de sus proyectos en relación con estándares de certificación y metodologías existentes, y también que valoren los recursos necesarios para cada una de las etapas del procedimiento (en términos temporales y financieros), que estimen los ingresos que se generarán de la venta de bonos de carbono y que comprendan los riesgos vinculados a la doble cuantificación, la propiedad de las reducciones de emisiones y el mercado.

44

Los tipos de proyectos más comunes en los mercados de carbono requieren una valoración mucho más sencilla para establecer su admisibilidad o carencia de ella, ya que la información sobre proyectos existentes la facilita enormemente. Por el contrario, los proyectos completos, como los relativos a los ecosistemas naturales, requieren una valoración más concienzuda, ya que implican muchos más parámetros que influyen sobre la admisibilidad de una metodología o de cara a la reducción de emisiones. A fin de realizar una valoración integral, es necesaria cierta información clave; esta información incluye:

### Contexto tecnológico

- Estudio de viabilidad del proyecto
- Comprensión de las prácticas comunes en relación con las actividades del proyecto propuesto
- Duración estimada del proyecto
- Análisis financiero (incluyendo costes e ingresos esperados)
- Detalles técnicos de las situaciones alternativas más comunes
- Línea temporal del proyecto (estudio de viabilidad, diseño, cierre financiero, puesta en marcha, etc.)
- Procesos de supervisión, presentación de informes y verificación que deben ponerse en práctica (en caso necesario)

### Obstáculos potenciales

- Lista de obstáculos y retos que se plantean ante el desarrollo de un proyecto o actividad de tal calibre (de índole financiera, jurídica, administrativa, tecnológica, etc.)
- Comprensión de la permanencia de los procesos de captación de carbono

### Aspectos jurídicos

- Situación de la normativa relativa al proyecto propuesto
- Estado de la propiedad de las emisiones capturadas

### Gases de efecto invernadero

- Procedimientos relativos a las emisiones y al cómputo de las reducciones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O (o cualquier otro GEI correspondiente, en su caso)
- Definición de límites temporales

En función de la información disponible y del grado de certeza necesario, los proponentes de proyectos deberán llevar a cabo actividades de seguimiento para determinar la admisibilidad de los mismos de cara a un estándar de certificación de carbono determinado.

### 3.1. Actividades admisibles y evaluación metodológica

Uno de los elementos más importantes de cara a la admisibilidad de un proyecto de carbono radica en la posibilidad de utilizar una metodología ya existente de cuantificación y supervisión de emisiones de GEI. Un elemento central de un mecanismo de línea de base y crédito es el cálculo de las emisiones de línea de base, más las del proyecto y las fugitivas, con miras a determinar el cómputo total de captura o reducción de carbono. Para ello, los proponentes de los proyectos deben valerse de una metodología aprobada. El MDL cuenta con 200 metodologías; el VCS, con 42; y el Gold Standard y la RAC, con más de 20 cada uno; por su parte, el Plan Vivo cuenta con 3 «enfoques aprobados»<sup>16</sup>.

Si bien es posible que los proponentes de proyectos desarrollen sus propias metodologías de seguimiento y cuantificación, esto supone un proceso que requiere recursos considerables y puede prolongarse hasta dos o tres años, ya que es preciso rendir cuentas en procesos de auditorías de terceros y de homologación de estándares de carbono. Este proceso no resulta rentable a menos que exista una perspectiva clara de venta de bonos de carbono a un precio que pueda cubrir la metodología y los trabajos de desarrollo de activos de carbono y, además, contribuir a los ingresos del proyecto.

Las metodologías definen las condiciones de aplicabilidad, las situaciones de base, los métodos de demostración de la adicionalidad, el enfoque de cuantificación de emisiones de GEI y los requisitos de seguimiento.

El objetivo de esta etapa consiste en encontrar la metodología que mejor se ajusta a las características del proyecto específico. En caso de que no haya metodología, es posible valerse de un proceso específico para adaptar una ya existente o crear una nueva.

Las metodologías existentes aplicables a los proyectos de carbono azul son las siguientes:

- AR-AM0014, del MDL: «Reforestación y repoblación de hábitats de manglares degradados»;
- AR-AMS0003, del MDL: «Base simplificada y metodología de seguimiento para proyectos a pequeña escala de reforestación y repoblación ejecutados en humedales, en el marco del MDL»;
- «Metodología de reforestación/repoblación para la captura y la reducción de emisiones de GEI» (aplicable a manglares) de Gold Standard; se prevé la llegada de nuevas metodologías para otros ecosistemas de carbono azul (p. ej., praderas marinas);
- VM0033, del VCS: «Recuperación de praderas marinas y humedales mareales»;
- VM0007, del VCS: «Marco metodológico REDD+ (REDD+MF)»;
- Metodología VM0024 del VCS para la creación de humedales costeros.

El Plan Vivo es menos prescriptivo y recomienda el uso de datos científicos para el desarrollo de proyectos. En Kenia y Madagascar, se han utilizado los siguientes artículos académicos:

- «Reservas de carbono en manglares y dinámicas de la cubierta ecosistémica en el suroeste de Madagascar, y sus repercusiones en la gestión local» [61];
- «Manglares de Kenia: efectos de la riqueza de especies en el crecimiento y las funciones ecosistémicas en manglares restaurados de África Oriental» [62];
- «Ecuaciones alométricas para la estimación de biomasa superficial en manglares de *Rhizophora mucronata* Lamk (Rhizophoraceae) en Gazi Bay, Kenia» [63];
- «Enraizamiento subterráneo y distribución en bosques de manglar naturales y replantados en Gazi Bay, Kenia. Gestión y ecología forestal» [64].

<sup>16</sup> Fuente: <http://www.planvivo.org/climate-benefit-estimation/approved-approaches/>

## 3.2. Estimación de costes asociados al proceso integral de certificación

A menudo se subestiman los costes del desarrollo de activos de carbono. Para garantizar que, como mínimo, resulten cubiertos por los ingresos procedentes de la venta de bonos de carbono, es esencial integrarlos en el coste general de desarrollo del proyecto. Se deben tener en cuenta varias líneas presupuestarias:

- **Tarifas de consultoría.** Muchas organizaciones carecen de la capacidad técnica necesaria para llevar a cabo la totalidad o parte del proceso de certificación de carbono; es una práctica habitual trabajar con consultorías externas para desarrollar el documento de diseño del proyecto (PDD) y evaluar el impacto medioambiental y social, así como disponer de asistencia durante las auditorías de validación, supervisión y verificación. En función de la complejidad del proyecto, la asistencia para la redacción de un PDD puede costar entre 15 000 y 50 000 €; para cada validación y verificación, el coste puede oscilar entre los 5 000 y los 10 000 €; y la asistencia para procesos de supervisión puede alcanzar precios de entre 5 000 y 20 000 €.
- **Costes de auditoría.** La auditoría previa al registro, denominada «validación», y la posterior a la reducción efectiva de las emisiones, denominada «verificación», pueden costar entre 10 000 y 30 000 €, en función de la complejidad del proyecto. Las auditorías de verificación deben tener lugar de forma periódica, o cada vez que el proponente del proyecto tenga la intención de emitir bonos de carbono.
- **Tarifas de los estándares de certificación (a fecha de 2020).** Cada estándar cuenta con su propio esquema de tarifas para procesar y gestionar proyectos registrados o en fase de solicitud. La mayoría de ellos aplican tarifas en las etapas de registro y de otorgamiento. El VCS cobra una cantidad equivalente al producto de 0,10 USD multiplicados por el volumen estimado anual de reducción de emisiones (con un límite superior de 10 000 USD) por el registro, y 0,10 USD por cada bono de carbono emitido (para el primer millón); el MDL cobra tarifas similares, aunque ligeramente más altas; el Plan Vivo cobra entre 1000 y 4000 USD por el registro y entre 0,35 y 0,40 USD por cada bono emitido, así como pequeñas tarifas para diversos exámenes preliminares; finalmente, el Gold Standard cobra 3500 USD por el examen preliminar, 1500 USD por el examen previo al otorgamiento y 0,15 USD por bono (menos la tarifa de examen previo al otorgamiento).
- **Costes o tarifas de las transacciones.** Los costes de marketing, negociación, celebración del contrato y provisión de bonos de carbono pueden variar notablemente en función del tipo de organización vendedora o compradora (p. ej., una autoridad pública frente a un pequeño desarrollador de proyectos o un comprador privado), del tipo de transacción (p. ej., ventas a plazo a varios años frente a ventas ocasionales por transacciones únicas) y del canal utilizado para la materialización de estos activos (p. ej., venta directa frente a venta minorista o en portales en línea).

Los costes desde la evaluación preliminar hasta la provisión del primer lote de bonos de carbono pueden oscilar entre 50 000 y 150 000 €, sin incluir los costes potenciales del desarrollo de una nueva metodología.

### 3.3. Flujo anticipado de bonos de reducción de emisiones del proyecto

En función de la estructura financiera del proyecto en ejecución, los ingresos generados a partir de la venta de bonos de carbono constituyen una parte esencial del balance financiero del proyecto. Los ingresos generados constituirán un factor del volumen de bonos de carbono generados y el precio de venta unitario en el mercado.

Si bien puede resultar complejo cuantificar las reducciones potenciales de las emisiones, los proponentes de proyectos deben tratar de estimarlas en una fase temprana o a lo largo de la línea temporal del proyecto o del período de acreditación, por medio de la metodología escogida.

### 3.4. Estimación del precio de las RVE y línea temporal de provisión

La viabilidad de un proyecto y las tareas de desarrollo de activos de carbono dependen de los ingresos que pueden generarse de la venta de bonos de carbono. En función de la estructuración financiera de un proyecto, esto puede contribuir a un porcentaje de los ingresos o a la totalidad de los mismos.

Como se mencionó en la primera sección de este manual, los precios en proyectos de los mercados de carbono voluntarios dependen de una amplia variedad de factores. Se debe estimar el precio medio de venta durante la línea temporal del proyecto o durante el período de acreditación.

El precio de las RVE se puede estimar a partir de informes de mercado o compradores potenciales:

- **Informes de mercado:** algunos de los más relevantes son el «Estado de los mercados de carbono voluntarios» (*State of the Voluntary Carbon Market*) o el informe de «Perspectivas de los mercados de carbono voluntarios» (*Voluntary Carbon Market Insights*) del proveedor de noticias Forest Trends.

- **Compradores potenciales:** de largo, la mejor fuente de información, ya que son los que pueden indicar su disponibilidad a pagar en determinados contextos.

Para evitar discordancias entre los requisitos financieros del proyecto y los ingresos generados por la venta de bonos de carbono, resulta útil comprender los diversos pasos implicados en la generación y la venta de los mismos. Los proponentes de proyectos deben considerar una línea temporal completa que abarque (i) los procesos de certificación de activos de carbono, incluyendo el otorgamiento de los bonos; (ii) los procesos de contratación y venta; y (iii) el suministro y el pago de los bonos. Estos tres pasos pueden solaparse en cierto grado; también puede ocurrir que el paso (ii) tenga lugar antes que el (i) o durante el transcurso de este (fig. 15).



© RABE / PIXABAY

### 3.5. Propiedad de los derechos de reducción de emisiones

48

La propiedad de las reducciones de emisiones es un asunto complejo y teórico. Las reducciones de emisiones son el resultado de la ejecución de un proyecto y la no materialización de una situación de base. En teoría, las reducciones de emisiones pueden ser propiedad de una o varias organizaciones que financien las actividades del proyecto, del titular de la tierra, de la compañía que desarrolla el proyecto o incluso de la región o del país receptor. Muy pocos países disponen de un marco jurídico que contemple estas consideraciones.

La propiedad de las reducciones de emisiones vincula los ingresos generados de la venta de bonos de carbono con los agentes participantes, de modo que es necesario acordar las condiciones pertinentes en una fase temprana.

En la mayoría de los casos, los proponentes de proyectos o los inversores deben asegurarse de que se les asigne la totalidad o parte de los ingresos generados por el proyecto.

### 3.6. Evaluación de la adicionalidad

La adicionalidad es un principio fundamental de los mecanismos de línea de base y crédito. Comporta la demostración de que la venta de activos de carbono permitirá la ejecución del proyecto y reducir o eliminar emisiones de una manera tal que no podría haber ocurrido sin la venta de los mismos.

Dado que la adicionalidad debe probarse durante la auditoría de validación del proyecto, se incluye en el PDD y es preciso anticiparla. Los proponentes de proyectos deben identificar los argumentos necesarios para demostrar que los ingresos procedentes de la venta de bonos de carbono permitirán que el proyecto pueda superar los obstáculos que pudieran haber impedido su ejecución en el pasado.

Los proyectos que utilicen la metodología VM0033 del VCS («Recuperación de praderas marinas y humedales mareales, v 1.0) o el marco metodológico REDD+ VM0007 (REDD+MF) y estén ubicados fuera de EE. UU., o que se valgan de las demás metodologías del MDL o el Gold Standard, deben utilizar la herramienta combinada del MDL para identificar la situación de base y demostrar la adicionalidad de las actividades de reforestación/replacación del MDL. De este modo, los proponentes pueden demostrar que el proyecto no es financieramente viable sin la venta de bonos de carbono, y que no tendría lugar sin la misma.

### 3.7. Criterios para la selección de proyectos

Aunque suele ser sensato que proponentes traten de identificar las condiciones bajo las cuales sus proyectos podrían optar a instrumentos de financiación de carbono, también es viable pensar en desarrollar o diseñar actividades de proyectos que garanticen el cumplimiento de las condiciones para aspirar a estándares de certificación de carbono ya existentes.

Los proyectos de carbono azul deben, en primer lugar:

- cumplir con las numerosas condiciones de aplicabilidad de la metodología correspondiente;
- garantizar que el valor del carbono capturado y de los bonos de carbono solicitados cubre, como mínimo, los costes de desarrollo del proyecto y una determinada proporción de los costes de sus actividades;

- garantizar que la propiedad de las reducciones de emisiones se adjudicará a la organización que financie el proyecto;
- garantizar la identificación temprana de compradores de los bonos y su compromiso de cara a la compra de los bonos de carbono al precio previamente acordado.

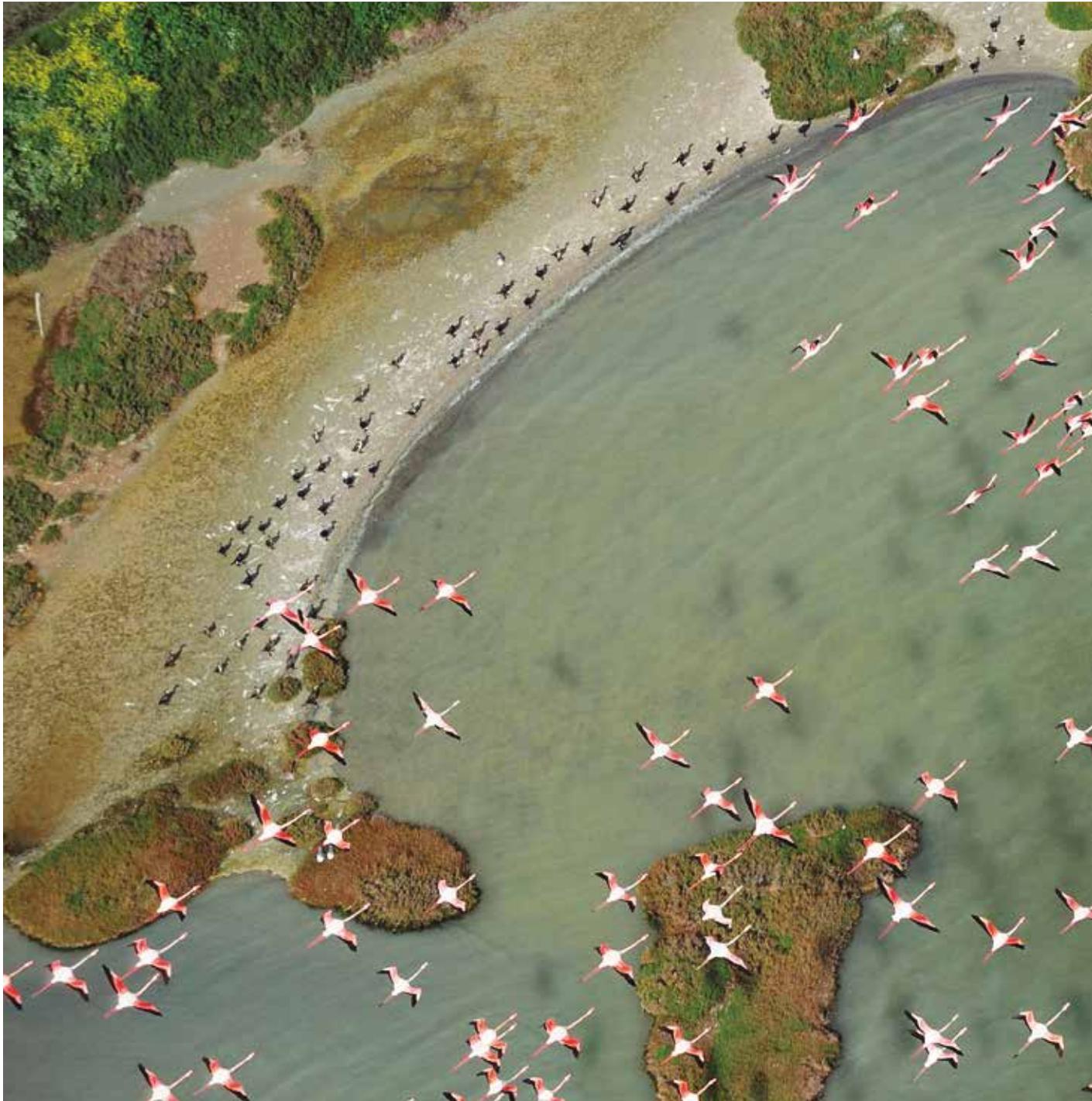
Es conveniente recordar que los proyectos que requieren un menor precio por cada bono de carbono suele ser los primeros que encuentran compradores y pueden materializarse.

**Figura 15:** Representación gráfica de los pasos necesarios para desarrollar inversiones que apoyen sistemas de carbono azul socio-ecológicos resilientes y sólidos.



## CAPÍTULO 4:

# PROCESO DE CERTIFICACIÓN DE UN PROYECTO DE CARBONO (AZUL)





Para generar compensaciones, un desarrollador de proyectos debe completar un riguroso proceso que permita garantizar la consecución de reducciones de emisiones reales y cuantificables. Por lo general, el proceso consta de los siguientes pasos:



## 1. REDACCIÓN DE LA NOTA DE IDEA DE PROYECTO

Si bien la **nota de idea de proyecto (PIN)** no forma oficialmente parte del proceso de certificación para los estándares de bonos de carbono disponibles, esta constituye un elemento importante. La PIN es un documento de entre cinco y diez páginas que sintetiza el concepto del proyecto y puede tener varios objetivos:

- asistir al desarrollador del proyecto para estructurar, conceptualizar, comercializar y encontrar financiación para el mismo o para la venta de bonos de carbonos;
- ser utilizada por inversores potenciales para evaluar y valorar los proyectos;
- ser utilizada para obtener asistencia oficial y la aprobación de las autoridades del país receptor y, potencialmente, del país de procedencia del comprador de los bonos; y
- ser utilizada como herramienta de comunicación para diversas partes interesadas.

Al considerar proyectos en etapas tempranas, los patrocinadores y los futuros compradores de bonos de carbono pueden utilizar la PIN para investigar los siguientes factores:

- las probabilidades que tiene el proyecto de obtener financiación;
- los costes del proyecto y los ingresos;
- la manera en que los ingresos procedentes del carbono pueden influir en la ejecución o cubrir lagunas de financiación previsibles;
- el volumen esperado de bonos de carbono que se emitirán durante el transcurso del proyecto;
- los ingresos que se espera que generen los bonos de carbono y la comparación de estos con los costes asociados al desarrollo de activos de carbono;

- la viabilidad del proyecto propuesto;
- la fiabilidad y la credibilidad de las partes implicadas en el proyecto;
- la credibilidad del modelo de sostenibilidad y de las salvaguardas puestas en práctica; y
- el cumplimiento con las normativas medioambientales y sociales.

La PIN consta de tres secciones principales que se describen a continuación.

### Descripción del proyecto

- Objetivo del proyecto.
- Descripción del proyecto y actividades propuestas.
- Tecnología que se utilizará.
- Desarrolladores o patrocinadores del proyecto.
- Tipo de proyecto.
- Ubicación.
- Programación prevista.
- Declaración acerca de la ratificación del Protocolo de Kioto o el Acuerdo de París por parte del país receptor.

### Beneficios sociales y medioambientales esperados

- Estimación de GEI eliminados o de CO<sub>2</sub> capturado.
- Situación de base.
- Beneficios específicos para el medio ambiente, a escala global y local.
- Aspectos socioeconómicos.
- Prioridades y estrategias del país receptor en materia medioambiental.

### Aspectos financieros

- Estimación del coste total del proyecto.
- Fuentes de financiación pretendidas o identificadas.
- Fuentes de financiación de carbono.
- Precio indicativo de las RCE.
- Valor total del acuerdo de compra de reducción de emisiones.

Una PIN bien realizada debe poder probar el conocimiento de los participantes en el proyecto, arreglos institucionales claros y una implicación temprana de especialistas técnicos, financieros y económicos de sobrada credibilidad, a fin de aseverar el cumpli-

miento de todos los criterios de selección del proyecto y la existencia de un marco legal sólido en lo concerniente a la propiedad, las operaciones y los clientes. También deben comunicar de forma fidedigna la viabilidad y la sostenibilidad de la estructura de financiación, la alineación del proyecto con las metas del país receptor y las potenciales medidas de protección social y medioambiental y los objetivos de desarrollo sostenible de los patrocinadores.

Uno de los modelos más utilizados para redactar la PIN es el que desarrolla el Banco Mundial para sus fondos de carbono.

## 2. DOCUMENTO DE DISEÑO DE PROYECTO

El **documento de diseño del proyecto (PDD)** es la cara visible de un proyecto en el mercado de carbono global. Es lo que utilizan los auditores, los organismos de certificación, los compradores de bonos, los participantes externos y otros agentes para evaluar el proyecto y la calidad de las reducciones de emisiones reivindicadas. Por todo ello, es de vital importancia que el PDD sea de excelente calidad, y que se ajuste no solo a los aspectos formales del estándar de certificación correspondiente, sino a la filosofía de este.

Por lo general, aunque cada estándar de certificación de carbono dispone de su propio modelo de PDD, todos los modelos reproducen el formato del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)<sup>17</sup> de la CMNUCC. El modelo propuesto por el estándar verificado de carbono (VCS) es uno de los más utilizados, por lo que es el que se presenta en esta sección. En general, el PDD se articula en cinco categorías informativas, tal y como se detalla a continuación:

- Detalles del proyecto.
- Aplicación de la metodología.
- Cuantificación de la reducción y la eliminación de emisiones de GEI.
- Seguimiento.
- Protección social y medioambiental.

### Detalles del proyecto

#### Descripción resumida y propósito del proyecto

La descripción resumida del proyecto suele constar de algunos párrafos en los que se explican el objetivo del proyecto, la ubicación y el contexto en el que se planea desarrollar sus actividades, los organismos implicados y el impacto esperado. En este punto se puede indicar también el período previsto de duración del proyecto y una estimación de la reducción de emisiones.

#### Ámbito sectorial y tipo de proyecto

El MDL de la CMNUCC establece 15 ámbitos sectoriales en los que es posible enmarcar cada proyecto; se podrían desarrollar otros nuevos con arreglo al Acuerdo de París. Los ámbitos abarcan desde la distribución energética hasta las iniciativas de reforestación y repoblación, pasando por el transporte. Todo proyecto debe definir el ámbito al que pertenece. En el Anexo II figura una lista completa con todos los ámbitos. Los ámbitos sectoriales también se utilizan para escoger a los auditores encargados de la validación y la verificación del proyecto. Se acredita cada auditoría para uno o varios ámbitos específicos.

<sup>17</sup> Sitio web de la CMNUCC: [https://cdm.unfccc.int/Reference/PDDs\\_Forms/index.html](https://cdm.unfccc.int/Reference/PDDs_Forms/index.html)

El tipo de proyecto define la naturaleza de las actividades, que, a menudo, se caracteriza por la situación de base de base (es decir, la situación actual o la más plausible en caso de no realizar estas) y la situación que propone el proyecto (es decir, las actividades propuestas). En el ámbito sectorial de reforestación y repoblación, existen varios tipos de proyectos que pueden reflejar estas actividades: p. ej., mejora de la gestión forestal y reducción de emisiones procedentes de la deforestación y la degradación de los bosques, restauración y rehabilitación de ecosistemas.

### Proponente del proyecto y otros organismos implicados en el mismo

En la jerga propia del desarrollo de proyectos de carbono, el proponente del proyecto (PP) es la entidad más importante del mismo y hace las veces de desarrollador principal. El PP puede desempeñar varios papeles: gestor de proyectos, coordinador, desarrollador, inversor o promotor comercial, entre otros. El PP puede ser una entidad privada, un organismo público o una organización no gubernamental.

### Fecha de inicio del proyecto

El inicio del proyecto no tiene que coincidir necesariamente con el momento en que se da comienzo a las operaciones del proyecto. La fecha de inicio es un concepto clave empleado para indicar que se han tomado ciertas decisiones sin las cuales no es posible el comienzo de las actividades del proyecto. En particular, la demostración de haber tomado en consideración los ingresos de carbono antes de iniciar el proyecto constituye una de esas decisiones.

La fecha de inicio del proyecto es aquella en que los participantes en el mismo se comprometen a destinar gastos para la construcción o a la modificación de los equipos e instalaciones principales, o para la provisión o la modificación de un servicio, de cara a las actividades del proyecto. En los casos en que se suscribe un contrato para blindar dichos gastos, la fecha de inicio es aquella en que tiene lugar la firma del acuerdo. Las actividades que conllevan gastos mínimos con anterioridad al proyecto (p. ej., estudios de viabilidad o sondeos preliminares) no se tienen en cuenta de cara a la determinación de la fecha de inicio. En proyectos relacionados con el uso de la tierra, puede considerarse como fecha de inicio el momento en que comienzan los preparativos en el emplazamiento.

El VCS define la fecha de inicio del proyecto como el momento en que este comienza a reducir o eliminar emisiones de GEI; por su parte, el MDL la define como el momento en que se prepara el terreno para el inicio de las actividades de repoblación y reforestación.

### Período de acreditación del proyecto

El período de acreditación comprende el tiempo durante el cual el proyecto puede solicitar bonos de carbono por reducción de emisiones.

Las opciones de acreditación del proyecto varían en función del estándar de certificación, y pueden constituir un parámetro importante a la hora de considerar la conveniencia de un estándar específico.

En el marco del VCS, para todos los proyectos forestales y relacionados con otros usos de la tierra, el período de acreditación deberá ser de 20 años como mínimo y 100 años como máximo; se podrá renovar hasta cuatro veces. En caso de que un proyecto no renueve su período de acreditación, este finaliza y el proyecto deja poder optar a recibir acreditación. El MDL permite elegir entre un único período de acreditación (hasta un máximo de 30 años) o un período de 20 años con dos posibilidades de renovación (hasta un máximo de 60 años en total). El Plan Vivo es el que ofrece más flexibilidad, con un período de acreditación que se define de forma adecuada a la actividad, con un límite inferior de 10 años y uno superior de 100 en incrementos de 10 años.

En todos los casos, la renovación de los períodos de acreditación comporta una revalorización de la situación base elegida antes de la ampliación.

### Escala del proyecto y estimación de reducción o eliminación de emisiones de GEI

Para evitar que los procesos de certificación supongan un obstáculo excesivo para proyectos de menor envergadura, los estándares de certificación de carbono han adoptado normas distintas para este tipo de casos. Los proyectos de menor envergadura pueden beneficiarse de una simplificación de los procedimientos (p. ej., eliminando la necesidad de que los ejecutores de las auditorías sean agentes terceros) o de la cuantificación (p. ej., pasando por alto las fuentes de emisiones con menor impacto o de compuestos distintos al CO<sub>2</sub>, o el uso de factores de conservación en

sustitución de las medidas de supervisión), o incluso de un aligeramiento de los requisitos de supervisión. No todas las metodologías son aplicables a proyectos de todas las escalas.

El VCS se vale de las estimaciones medias anuales de reducción o eliminación de emisiones de GEI para categorizar los proyectos según su escala. Los proyectos que consiguen una reducción o eliminación de menos de 300 000 tCO<sub>2</sub>e de emisiones al año se consideran de pequeña escala. El MDL define los proyectos forestales de pequeña escala como aquellos que no superan las 8000 tCO<sub>2</sub>e capturadas por cada período de verificación. El Plan Vivo también aplica distintas normas para proyectos de distintas escalas.

El VCS exige, además, que en esta sección del PDD figure una estimación resumida ex ante de la reducción de emisiones.

#### **Descripción de las actividades del proyecto, condiciones previas al inicio y gestión del proyecto**

Esta sección debe contener una cantidad significativa de información técnica, y debe abarcar los siguientes puntos:

- Descripción de las actuales prácticas de uso de la tierra y de sus efectos (con anterioridad al inicio del proyecto).
- Descripción de las causas de la degradación o la pérdida de la tierra y del ecosistema.
- Descripción geofísica (clima, condiciones ecológicas, suelos, topografía, etc.).
- Presencia de especies y hábitats en peligro de desaparición.
- Otros factores críticos que puedan afectar al a gestión del proyecto (p. ej., carreteras, infraestructura, riesgos climáticos).
- Información acerca de las actividades de conservación, gestión o plantación, incluyendo una descripción del nivel de implicación de las diversas organizaciones, comunidades y otras entidades.
- Indicación acerca de cómo las actividades del proyecto contribuyen al desarrollo sostenible.
- Descripción de la estructura organizativa del proyecto y los papeles que ha de desempeñar cada organización implicada (en caso necesario, se pueden incluir diagramas y cuadros).
- La capacidad y la experiencia de cada organización implicada.
- Un análisis de los participantes.

- Una línea temporal (aproximada) para el establecimiento, los ensayos, la ampliación y la supervisión del proyecto.
- Una declaración de que el proyecto no se ha llevado a cabo para generar emisiones GEI y posteriormente buscar su reducción, eliminación o destrucción.
- Una descripción acerca de cómo el proyecto cumple con las condiciones de admisibilidad para el estándar de certificación correspondiente, si procede.

#### **Ubicación del proyecto**

El objetivo de esta sección es garantizar la demarcación clara de la ubicación de las actividades del proyecto y asegurar que no se solape con las actividades de otro proyecto certificado.

Para proyectos relacionados con el uso de la tierra (como ocurre con los proyectos de carbono azul), se suele esperar que la ubicación se especifique delineando el área geográfica de cada actividad del proyecto por medio de polígonos geodésicos. La mayoría de los estándares requieren mapas que muestren el área total del proyecto y sus límites.

#### **Cumplimiento normativo, estatutario y con otros marcos reglamentarios**

No todos los estándares de certificación disponen de una sección dedicada al marco legal y normativo bajo el cual se llevan a cabo las actividades del proyecto. No obstante, esta información es necesaria para rellenar varias secciones de la plantilla, ya que:

- se puede utilizar para explicar el contexto de las actividades del proyecto y la situación de base actual;
- permite al proponente demostrar cómo cumplirá el proyecto con los requisitos legales del país receptor (incluyendo la obtención de todo permiso gubernamental que pueda ser necesario), que las actividades no son ilegales y que se han previsto todas las autorizaciones requeridas; y
- se puede utilizar para demostrar que las actividades del proyecto propuestas van más allá de los meros requisitos legales y que las reducciones de las emisiones tendrán lugar a mayores de estos.

La información proporcionada deberá centrarse en los tres objetivos anteriormente mencionados y demostrar que las actividades del proyecto cumplen

todas las leyes nacionales, regionales y locales, así como otras normas y marcos reglamentarios.

### Propiedad y otros programas

El VCS es uno de los estándares más estrictos en lo que respecta a los asuntos jurídicos. Así, se espera que las descripciones de los proyectos vayan acompañadas algún tipo de prueba que demuestre que la propiedad del proyecto está adjudicada al PP. A continuación, se detallan algunos tipos de pruebas. La propiedad se define como el derecho jurídico a controlar y gestionar las actividades del proyecto. La información que se puede adjuntar puede ser de los siguientes tipos:

- propiedad del proyecto originaria u otorgada por ley o decreto por parte de una autoridad competente; o
- propiedad del proyecto originaria de un acuerdo con el titular de la propiedad o los derechos contractuales del terreno, de la vegetación o del proceso de conservación o gestión a partir del cual se genera la reducción o la eliminación de emisiones de GEI.

56

## Aplicación de la metodología

### Título y referencia de la metodología

Cada proyecto debe utilizar y citar una metodología admisible y aprobada. Cada metodología cuenta con sus propias características y la elección de una u otra se basa principalmente en el tipo de actividades llevadas a cabo, la escala de estas y la situación de base. Cada proyecto debe poder demostrar cómo las actividades del proyecto propuesto cumplen con los criterios de admisibilidad de la metodología correspondiente.

En proyectos de carbono azul, especialmente para praderas marinas, las metodologías de cuantificación de carbono más adecuadas son la VM0033 (metodología para la recuperación de praderas marinas y humedales mareales) y la VM0007 (marco metodológico REDD+).

### Admisibilidad de la metodología

Cada metodología emplea condiciones de admisibilidad para especificar las actividades de proyectos para las que es adecuada, y para establecer los criterios que describen las condiciones bajo las cuales es posible o no la

aplicación de la metodología. Deberán aplicarse también todas las condiciones de admisibilidad de las herramientas y los módulos utilizados por la metodología.

La metodología VM0033 se puede aplicar a una amplia variedad de actividades de proyectos encaminadas a la creación y la restauración de humedales mareales; la VM0007 es también aplicable a una amplia variedad de actividades, pero se centra más en la conservación. La eliminación y reducción de emisiones se estima principalmente a partir de los cambios ecológicos que se producen a tenor de dichas actividades (p. ej., aumento de la cobertura vegetal, cambios en la tabla de profundidad del agua, etc.).

Se espera que las actividades de los proyectos reduzcan y eliminen emisiones de GEI por medio de:

- el aumento de la biomasa;
- el aumento del carbono orgánico en el suelo autóctono;
- la disminución de las emisiones de metano y/u óxido nítrico como consecuencia de un aumento en la salinidad o un cambio en el uso de la tierra; o
- la disminución de emisiones de dióxido de carbono como consecuencia de la prevención de la pérdida de carbono del suelo.

Se enumeran las condiciones de admisibilidad para cada metodología; el proponente debe demostrar de qué manera cumplen con dichas condiciones las actividades del proyecto propuesto. Para la metodología VM0033, se enumeran ocho condiciones de admisibilidad:

- Son admisibles las actividades de proyectos encaminadas a la restauración de humedales mareales (incluyendo las praderas marinas).
- Las actividades del proyecto podrán incluir las siguientes (o conformar una combinación de estas):
  - creación, restauración o gestión de condiciones hidrológicas (p. ej., eliminación de barreras mareales, mejora de la conectividad hidrológica, restauración de los flujos mareales hacia los humedales o disminución de los niveles de agua en humedales embalsados);
  - alteración del suministro de sedimentos (p. ej., uso ventajoso de materiales de dragado o desvío de sedimentos fluviales hacia áreas pobres en sedimentos);
  - modificación de las características de salinidad (p. ej., restauración de los flujos mareales hacia áreas afectadas por restricciones que impiden las mareas);

- mejora de la calidad del agua (p. ej., reducción de la carga en nutrientes para aumentar la claridad del agua y así ampliar las praderas marinas, recuperación de descargas e intercambios mareales e hidrológicos de otros tipos, o reducción del tiempo de permanencia de los nutrientes);
- (re)introducción de comunidades autóctonas de plantas (p. ej., siembra o replantación); o
- mejora de las prácticas de gestión (p. ej., eliminación de especies invasivas, reducción del pastoreo).

- El área del proyecto, antes de la fecha de inicio:
  - queda libre de todo uso de la tierra que se pueda trasladar fuera de ella; o
  - está sujeta a usos de la tierra que podrían trasladarse fuera de ella (p. ej., extracción de madera), sin que, en este caso, se contabilicen las emisiones procedentes de dichos usos; o
  - está sujeta a usos de la tierra que se mantendrán a niveles similares de producción durante el período de acreditación del proyecto (p. ej., cosecha de carrizo o de paja, recogida de leña, cultivos de subsistencia).

- Puede haber vegetación viva en el área de proyecto, y podrá estar sujeta a modificaciones en las reservas de carbono (p. ej., debido a la recolección) tanto en la situación de base como en la que persigue el proyecto.
- Las actividades del proyecto pueden incluir la quema prescrita de biomasa superficial herbácea y arbustiva (quema superficial).
- En caso de que el proponente busque reducir emisiones disminuyendo la frecuencia de los incendios de turba, las actividades del proyecto deberán incluir una combinación de tareas de remojado y de gestión de incendios.
- En caso de que el proponente busque reducir emisiones disminuyendo la frecuencia de los incendios de turba, deberá demostrarse la existencia de una amenaza de incendios frecuentes en el emplazamiento y que las causas mayoritarias de la combustión del suelo orgánico sean antropogénicas.
- En estratos con suelo orgánico, las tareas de reforestación, repoblación y revegetación (RRR) deben combinarse con actividades de remojado.

La demostración puede realizarse en forma de tabla.

Por otra parte, una metodología mucho menos restrictiva es la AR-AM0014, cuya admisibilidad está sujeta a las siguientes condiciones:

- la tierra debe ser un hábitat de manglar degradado;
- debe haber especies de mangle plantadas en más del 90 % del área del proyecto; y
- la perturbación del suelo atribuible a las actividades del proyecto no debe suponer más del 10 % del área.

La metodología VM0007 también presenta condiciones de aplicabilidad específicas para proyectos de conservación y restauración de humedales, incluidas las praderas marinas.

### Límites del proyecto

La consideración de los límites del proyecto se define generalmente en la metodología aplicable, que suele establecer criterios y procedimientos para describir los límites y para identificar y evaluar las fuentes, los depósitos y los reservorios de GEI relevantes de cara al proyecto y a las situaciones de base.

Los límites del proyecto pueden definirse en los siguientes términos:

#### • Límites temporales

En las metodologías VM0033 y VM0007, el límite temporal del proyecto puede definirse como el tiempo de agotamiento de turba y carbono orgánico en el suelo.

#### • Límites geográficos

Los límites del proyecto pueden definirse como la delineación de un área geográfica en la que se producen las actividades del proyecto bajo el control de los participantes en el mismo, tal y como queda determinada en función de la metodología aplicada.

El proponente del proyecto debe proporcionar las coordenadas geográficas de los terrenos (incluyendo praderas marinas submareales, si procede) incluidos en el área del proyecto, a fin de facilitar su delimitación precisa. Para ello, deben emplearse datos obtenidos de forma remota, información topográfica y mapas publicados, registros de administración y tenencia de tierras y/u otros documentos oficiales que faciliten una delineación clara del área del proyecto.

#### • Reservorios de carbono

Las metodologías disponen los reservorios de carbono que se incluyen y se excluyen de los límites del proyecto. La metodología VM0033 recomienda incluir la biomasa arbórea y no arbórea superficial y la biomasa,

el suelo y los productos de madera subterráneos. Los únicos elementos que no se deben incluir son los residuos y la madera muerta. La metodología VM0007 recomienda cuantificar solo la biomasa subterránea y el carbono del suelo, y la metodología AR-AM0014 insta a incluir la biomasa superficial y subterránea, con la opción de considerar adicionalmente la madera muerta y el carbono orgánico del suelo.

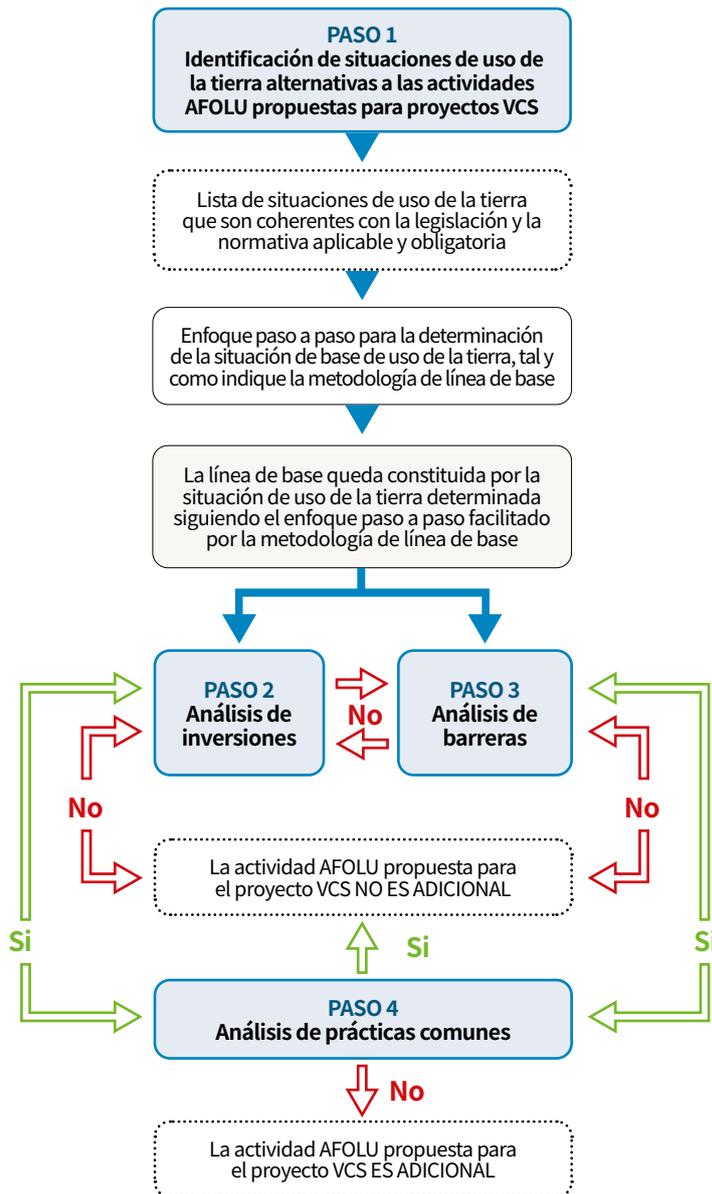
Es posible omitir los reservorios de carbono si, en su totalidad, suponen menos del 5 % del beneficio generado por el proyecto en términos de reducción de GEI.

• **Fuentes de gases de efecto invernadero**

Los GEI incluidos o excluidos de los límites del proyecto se enumeran en las metodologías. Es posible omitir fuentes de GEI que, en su totalidad, supongan menos del 5 % del beneficio generado por el proyecto en términos de reducciones.

Es posible utilizar la herramienta del MDL para valorar la importancia de las emisiones de GEI en actividades de proyectos de reforestación/repoblación<sup>18</sup> en el seno del Mecanismo para determinar si el incremento de emisiones es *de minimis* (fig. 16).

**Figura 16:** Diagrama de flujo indicativo de la herramienta combinada del MDL para la identificación de la situación de base y la demostración de la adicionalidad en actividades de proyectos de reforestación/repoblación del CDM. Fuente: MDL: «Herramienta combinada para la identificación de la situación de base y la demostración de la adicionalidad en actividades de reforestación/repoblación del MDL».



### Situación de base

La situación de base es aquella que representa de forma razonable la suma de los cambios en las existencias de carbono de los reservorios incluidos en los límites del proyecto que se producirían si no se llevaran a cabo las actividades del proyecto propuesto.

Las metodologías suelen ofrecer métodos y asistencia para la identificación y la justificación de la situación de base.

### Adicionalidad

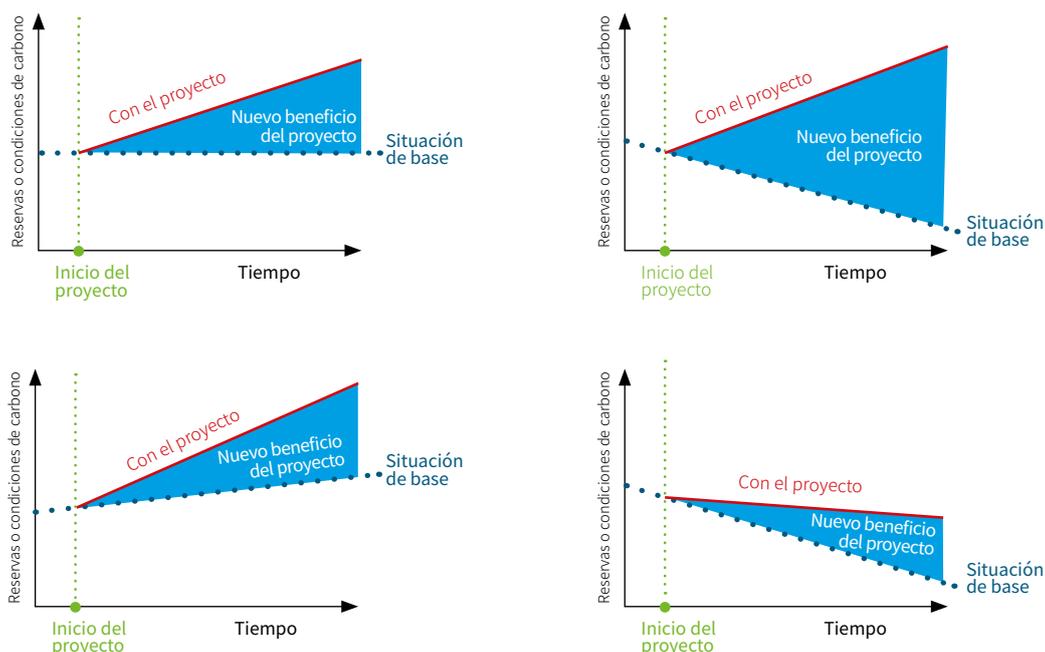
La adicionalidad puede definirse como la capacidad que tiene el proyecto para aumentar la cuantía neta de eliminación de GEI en los límites del proyecto, en comparación con una situación análoga en que las actividades no hubiesen tenido lugar. En otras palabras, se trata de la demostración de que la venta de activos de

carbono permitirá la ejecución del proyecto y reducir o eliminar emisiones de una manera tal que no podría haber ocurrido sin la venta de los mismos (fig. 17).

Los programas VCS, MDL, Gold Standard y Plan Vivo suelen requerir un enfoque basado en cada proyecto específico. En las metodologías VM0033 y VM0007, los proyectos desarrollados fuera de EE. UU. deben emplear la versión más reciente de la herramienta combinada del MDL para la identificación de la situación de base y la demostración de la adicionalidad en actividades de proyectos de reforestación/repoblación.

La demostración de la adicionalidad se realiza especialmente en las etapas dos y tres de la herramienta combinada, con la puesta de manifiesto de que el proyecto, por sí mismo, puede no ser viable al enfrentarse con obstáculos: financiación insuficiente, falta de disposición por parte de los propietarios de las tierras o de apoyo comunitario, limitaciones físicas y ecológicas, etc.

**Figura 17:** El potencial de carbono azul se determina mediante la diferencia entre la situación de base (cuando no se hace nada) y la situación planteada por el proyecto de carbono azul (protección/fomento). Para poder solicitar créditos de carbono azul, un proyecto debe tener emisiones netas negativas.



<sup>18</sup> Fuente: [https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-04-v1.pdf/history\\_view](https://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/tools/ar-am-tool-04-v1.pdf/history_view)

## Cuantificación de la reducción y la eliminación de emisiones de GEI

### Emisiones de base

Utilizando como ejemplo la metodología VM0033, las emisiones de la situación de base se atribuyen a las modificaciones en las reservas de carbono en los reservorios de biomasa de carbono o en los procesos relativos al suelo (o una combinación de estos factores). Además, si procede, se pueden cuantificar las emisiones procedentes del uso de combustibles fósiles.

Las emisiones de la situación de base se estiman de la siguiente manera:



$$GEI_{base} = GEI_{base-biomasa} + GEI_{base-suelo} + GEI_{base-combustibles}$$

Donde:

- $GEI_{base}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de la situación de base hasta el año *t*, en tCO<sub>2</sub>e
- $GEI_{base-biomasa}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de los reservorios de biomasa de carbono en la situación de base hasta el año *t*, tCO<sub>2</sub>e (\*)
- $GEI_{base-suelo}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de las reservas de carbono de los suelos orgánicos en la situación de base hasta el año *t*, tCO<sub>2</sub>e (\*\*)
- $GEI_{base-combustibles}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e procedentes del uso de combustibles fósiles en la situación de base hasta el año *t*, tCO<sub>2</sub>e

(\*): Hace referencia a los cambios en los reservorios de carbono almacenados en la biomasa viva de plantas entre el momento actual (*t*) y un momento pasado (por ejemplo, *t* = 2020 y 2010).

(\*\*): Hace referencia a los cambios en los reservorios de carbono almacenados en el suelo entre el momento actual (*t*) y un momento pasado. Si el cambio es negativo, el fenómeno se denomina «captura».

### Emisiones del proyecto

Utilizando la metodología VM0033, las emisiones de la situación que propicia el proyecto se atribuyen a las modificaciones en las reservas de carbono en los reservorios de biomasa de carbono o en los procesos del suelo (o una combinación de estos factores). Además, si procede, se pueden cuantificar las emisiones procedentes de las quemaduras de suelos orgánicos y del uso de combustibles fósiles.

Las emisiones de la situación de base se estiman de la siguiente manera:



$$GEI_{SP} = GEI_{SP-biomasa} + GEI_{SP-suelo} + GEI_{SP-quema} + GEI_{SP-combustibles}$$

Donde:

- $GEI_{SP}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de la situación del proyecto hasta el año *t*; tCO<sub>2</sub>e
- $GEI_{SP-biomasa}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de los reservorios de biomasa de carbono en la situación del proyecto hasta el año *t*; tCO<sub>2</sub>e
- $GEI_{SP-suelo}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de las reservas de carbono de los suelos orgánicos en la situación del proyecto hasta el año *t*; tCO<sub>2</sub>e
- $GEI_{SP-quema}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e procedentes de las quemaduras previstas en la situación del proyecto hasta el año *t*; tCO<sub>2</sub>e
- $GEI_{SP-combustibles}$  = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e procedentes del uso de combustibles fósiles en la situación del proyecto hasta el año *t*; tCO<sub>2</sub>e

### Emisiones fugitivas

En proyectos forestales, de uso de la tierra o de modificaciones del uso de la tierra, las emisiones fugitivas se corresponden con la disminución de las reservas de carbono en los reservorios o con el incremento de GEI procedente de otras fuentes que, aunque tienen lugar fuera de los límites del proyecto, son cuantificables y atribuibles al mismo.

La metodología VM0033 prevé potenciales emisiones fugitivas atribuibles a:

- cambios en las actividades o en el mercado; o
- factores ecológicos.

### Niveles netos de reducción y eliminación de emisiones de GEI

Las reducciones de GEI netas totales procedentes de actividades de proyectos de restauración de humedales (RH) se calculan según la siguiente fórmula:

$$RNE_{RH} = GEI_{base} - GEI_{SP} + PRQ - GEI_{EF}$$

Donde:

- RNE<sub>RH</sub>** = Reducción neta de emisiones de CO<sub>2</sub>e procedente de las actividades del proyecto de RH, en tCO<sub>2</sub>e
- GEI<sub>base</sub>** = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de la situación de base, en tCO<sub>2</sub>e
- GEI<sub>SP</sub>** = Emisiones netas de CO<sub>2</sub>e de la situación del proyecto, en tCO<sub>2</sub>e
- PRQ** = Prima de reducción por quemas (emisiones netas de CO<sub>2</sub>e procedentes de la combustión de suelos orgánicos debida a procesos de remojado y gestión de incendios), en tCO<sub>2</sub>e
- GEI<sub>EF</sub>** = Emisiones fugitivas netas de CO<sub>2</sub>e en tCO<sub>2</sub>e

## Seguimiento

El seguimiento consiste en la recopilación y el archivo de todos los datos necesarios para medir los niveles netos de reducción antropogénica de GEI.

Para calcular los niveles de eliminación de emisiones de GEI, se utilizan dos categorías de parámetros de datos:

- datos y parámetros disponibles en el momento de la validación;
- datos y parámetros obtenidos durante el seguimiento.

### Datos y parámetros disponibles en el momento de la validación y obtenidos durante el seguimiento

Estos dos conjuntos de parámetros se presentan en secciones bien diferenciadas, y deben incluir la información siguiente:

- Dato/Parámetro: nombre del parámetro (p. ej., utilizando la nomenclatura empleada en las fórmulas).
- Unidad de datos: unidad en la que se expresa el dato/parámetro.
- Descripción: explicación en una línea de aquello a lo que corresponde el parámetro.
- Ecuaciones: ecuación a la que se hace referencia en la metodología (p. ej., se puede indicar el número correspondiente).
- Fuente de los datos: enfoque empleado para encontrar un valor o una fuente directa.
- Valor aplicado: valor que se aplica, debidamente justificado.
- Justificación de la elección de datos o descripción de los métodos de medida y los procedimientos aplicados: razonamiento que conduce a la elección de los datos correspondientes.
- Propósito de los datos: para qué va a utilizarse el parámetro.
- Comentarios: cualquier comentario relevante para el parámetro.

Para los datos y parámetros obtenidos durante el seguimiento, además de lo anterior, se debe proporcionar también la siguiente información adicional:

- Descripción de los métodos y procesos de medición: método para la realización del seguimiento del parámetro.
- Frecuencia de seguimiento/registro: con qué frecuencia se ha estudiado (o se estudiará) el parámetro.

- Procesos de aseguramiento y control de calidad que se utilizarán: método empleado para gestionar la calidad y la incertidumbre.
- Método de cálculo: si el parámetro correspondiente se obtiene mediante un cálculo, será preciso indicar el método seguido para ello.

Estos datos y tablas deberán presentarse y actualizarse en el informe de seguimiento, y deberán revestir la máxima precisión posible.

### Planes de seguimiento y muestreo

El principal objetivo del seguimiento del proyecto radica en la cuantificación fiable de las reservas de carbono y las emisiones de GEI en la situación del proyecto durante el período de acreditación del mismo, antes de cada etapa de verificación. Las tareas principales son las siguientes:

- estimación *ex post* de los niveles netos de modificaciones en las reservas de carbono y de reducción de emisiones de GEI; y
- seguimiento de las modificaciones en las reservas de carbono del proyecto y de la reducción de emisiones de GEI.

El plan de seguimiento debe contener, como mínimo, los siguientes datos:

- una descripción de cada tarea de seguimiento que deba realizarse, así como los requisitos técnicos que implica;
- los parámetros que deben medirse;
- los datos que deben recopilarse, así como las técnicas de recopilación de datos;
- la frecuencia del seguimiento;
- los procesos de aseguramiento y control de la calidad (QA/QC);
- los procesos de archivado de datos; y
- los roles, las responsabilidades y las capacidades del equipo de seguimiento, así como la gestión del mismo.

Las metodologías VM0033 y VM0007 ofrecen asistencia para la gestión de la incertidumbre y la calidad, así como métodos de estratificación y muestreo.

## Salvaguardas

### Impactos medioambientales

Para un proyecto, puede darse una de tres posibles situaciones en relación con la evaluación de impacto medioambiental (EIA):

- la normativa local, regional o nacional exige la ejecución de una evaluación de impacto ambiental total o parcial, para garantizar que el proyecto no ejerza un impacto adverso y, de este modo, pueda asegurarse la consecución los permisos medioambientales necesarios de las autoridades;
- la normativa jurisdiccional no exige la ejecución de una EIA, pero, en todo caso, el proyecto debe asegurarse los permisos necesarios; o
- no se requieren ni una EIA ni permisos específicos.

En cualquiera de estos casos, esta sección del PDD debe presentar pruebas de la situación actual e indicar un resumen de los procesos completados y los impactos evaluados.

### Consultas a los participantes locales (CPL)

En todos los estándares de certificación de carbono, es requisito que el proponente del proyecto establezca consultas con los participantes locales antes de la auditoría de validación con el fin de informarles del diseño del proyecto y maximizar su participación. Estas consultas están encaminadas a que los participantes puedan evaluar el impacto, elevar cuestiones sobre impactos potencialmente negativos y contribuir con ideas al diseño del proyecto.

El proponente del proyecto debe establecer los mecanismos para asegurar un flujo de comunicación continuo con los participantes locales, de modo que estos puedan elevar las cuestiones pertinentes sobre impactos potencialmente negativos durante la ejecución del proyecto.

El proponente deberá tener en cuenta las aportaciones recibidas durante las CPL y en el transcurso de la comunicación, lo que supone que deberá ir actualizando el diseño del proyecto o justificar por qué no es necesario actualizarlo. Además, como parte del proceso de validación, el proponente deberá demostrar a los auditores de validación/verificación las acciones emprendidas a tenor de las consultas con los participantes locales y las aportaciones de estos; como parte

de cada verificación subsiguiente, deberá demostrar las medidas emprendidas como consecuencia de la comunicación continua.

Esta sección del PDD debe contener una descripción del proceso y de los resultados de las CPL, incluyendo detalles sobre los siguientes puntos:

- procedimientos o métodos empleados para comprometer a los participantes locales (p. ej., fechas de comunicaciones o reuniones, períodos de búsqueda y recopilación de aportaciones);
- procedimientos o métodos empleados para documentar los resultados de las consultas a los participantes locales;
- mecanismos previstos para establecer un flujo continuo de comunicación con los participantes locales; y
- la manera en que se ha tomado o se tomará buena cuenta de todas las aportaciones recibidas en el seno de las consultas. Se deberán incluir detalles relativos a las actualizaciones del diseño del proyecto o una justificación de la no necesidad de las actualizaciones.

Si bien los programas VCS y MDL no requieren un informe específico de CPL, los proponentes del proyecto pueden optar por realizar este tipo de consultas. Algunos estándares de certificación de carbono, como el Gold Standard, exigen que los proponentes del proyecto redacten y faciliten un informe que documente el resultado de las consultas, así como todos los comentarios, las críticas y las sugerencias de mejora que se hayan realizado, junto con cualquier otro dato relevante.

### Comentarios públicos

Los proyectos están sujetos a un período de 30 días para comentarios públicos en el marco de todos los estándares de certificación de carbono. En el marco del VCS, la fecha en que aparece listado el proyecto en el inventario de proyectos (véase el siguiente paso) marca el inicio del período de 30 días para comentarios públicos; estos deberán enviarse a través de Verra, y sus autores deben indicar su nombre, su país, su dirección de correo electrónico y la organización a la que pertenecen. Al finalizar el período de comentarios públicos, Verra proporcionará al proponente del proyecto todos los comentarios recibidos.

El proponente deberá tener en cuenta todos los comentarios recibidos durante la consulta.

Esta sección del PDD debe describir este proceso.

### 3. INSCRIPCIÓN EN EL ESTÁNDAR DE CERTIFICACIÓN APROPIADO

En el marco del VCS, todo participante del mercado que quiera inscribir una cartera de proyectos, registrar un proyecto o emitir, retirar o comerciar con compensaciones de carbono debe abrir una cuenta de registro. Un participante del mercado puede solicitar la apertura de una cuenta de registro del VCS en cualquier momento. Todos los estándares de certificación requieren que el PP abra una cuenta.

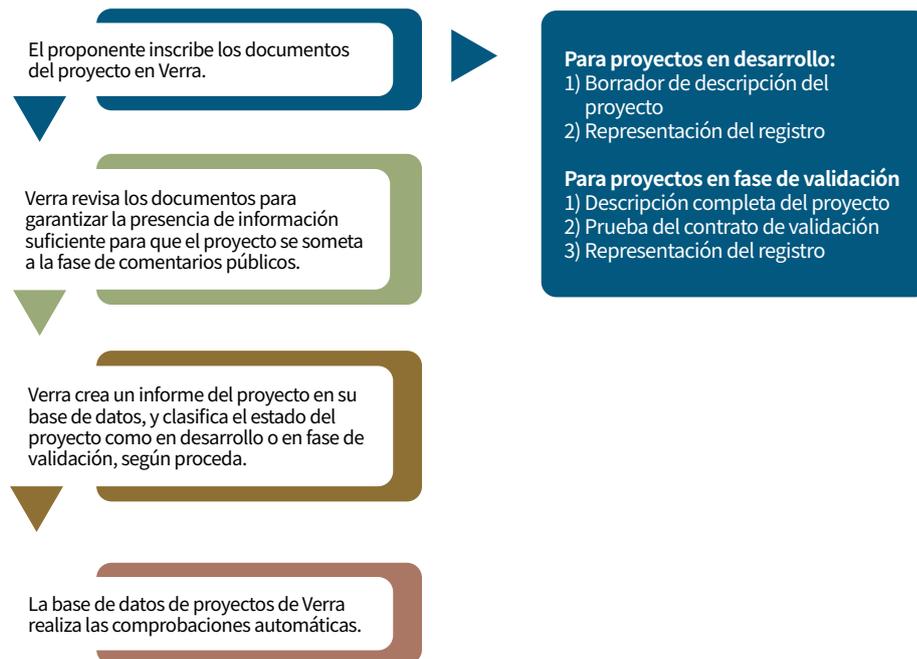
La base de datos del VCS constituye el repositorio central con toda la información y documentación relativa a proyectos registrados y carteras de proyectos. La base de datos incluye una cartera prospectiva en la que figuran proyectos antes de que estos se registren. Los proyectos deben inscribirse en dicha cartera antes de la reunión inicial entre los proponentes del proyecto y la entidad operacional designada EOD o el organismo de validación y verificación (OVV) (véase el siguiente paso).

El proceso, que debe ser iniciado por los proponentes del proyecto, puede dar comienzo antes de la validación (en la fase de desarrollo) o justo después de haber concertado la auditoría de validación con la EOD o el OVV (fase de validación). La figura 18 proporciona un esquema del proceso para inscribir un proyecto en el marco del VCS.

El documento «Proceso de registro y otorgamiento» del VCS ofrece más información al respecto. Verra impone una tarifa de 500 USD para la inscripción de proyectos (información actualizada en enero de 2021).<sup>19</sup>

A diferencia del resto de estándares de certificación de carbono más relevantes, el MDL no requiere una fase de inscripción.

Figura 18: Proceso de inscripción para el VCS en Verra.



<sup>19</sup> Fuente: <https://verra.org/oprfeeschedule/>

## 4. AUDITORÍA DE VALIDACIÓN

El propósito de la validación del proceso consiste en garantizar una evaluación exhaustiva e independiente del diseño del proyecto, a cargo de una entidad externa independiente. Las entidades de este tipo se denominan «entidades operacionales designadas» (EOD) u «organismos de validación y verificación» (OVV). La evaluación se realiza de acuerdo con los requisitos del estándar de certificación correspondiente (p. ej., VCS, MDL, Plan Vivo, etc.) a fin de garantizar que la información indicada en el PDD es correcta. Además, en la fase de validación, se realizan observaciones y recomendaciones basadas en visitas de campo al área del proyecto; también se identifican las acciones correctivas necesarias de cara a la aprobación del proyecto por el estándar de carbono correspondiente.

Un proceso de validación típico suele pasar por la siguiente secuencia de operaciones:

- Identificación de una EOD o un OVV potencial por parte del PP: todos los proyectos en el marco del VCS deben ser validados por una compañía especializada, mientras que estándares como el Plan Vivo permiten la agencia de individuos cualificados.
- Suministro a la EOD/al OVV de información sobre el proyecto para obtener presupuestos: en función de la entidad, la información proporcionada puede ser el PDD, la PIN o un formulario propio de la EOD/el OVV en cuestión.
- Selección de la propuesta más adecuada y finalización de arreglos contractuales entre el PP y la EOD/el OVV; para seleccionar la EOD/el OVV más conveniente, se deben tener en cuenta los siguientes factores:
  - experiencia y conocimientos acerca del estándar de certificación de carbono elegido;
  - familiaridad con el área, la región o el país del proyecto;
  - capacidad lingüística para entenderse con los participantes en el proyecto;
  - experiencia técnica relevante de cara al proyecto; y
  - capacidad para preparar un informe de validación en inglés (o cualquier otro idioma permitido por el estándar de certificación de carbono correspondiente).
- Suministro a la EOD/al OVV de información sobre el proyecto: los proponentes del proyecto deberán facilitar el PDD, pruebas de la propiedad del proyecto y cualquier tipo de información auxiliar solicitada, así como los datos necesarios para apoyar las decla-

raciones y los cálculos que figuran en la descripción del proyecto.

- Análisis inicial de la documentación por parte de la EOD/el OVV a fin de evaluar la calidad de la información proporcionada en el PDD y la adecuación del proyecto al estándar de certificación.
- Visita al emplazamiento por parte de la EOD/el OVV, a fin de valorar el nivel de precisión de los documentos del proyecto y la capacidad de las organizaciones implicadas, y para determinar si los participantes en el proyecto están comprometidos sobre la base de un consentimiento voluntario e informado.
- Envío del protocolo de validación a los PP por parte de la EOD/el OVV: el protocolo puede incluir las incidencias encontradas, vinculadas con solicitudes de acción correctiva (SAC) y solicitudes de clarificación (SCL).
- Subsanación de las SAC y las SCL por parte de los PP.
- Evaluación técnica por parte de la EOD/el OVV: una vez subsanadas satisfactoriamente todas las SAC y las SCL, el proyecto se somete a una evaluación técnica a cargo de un segundo equipo de la EOD/el OVV, que podrá cursar solicitudes adicionales que deberán ser atendidas.
- Envío del borrador del informe de validación por parte de la EOD/el OVV a los proponentes del proyecto, para que estos emitan sus valoraciones y comentarios.
- Envío del informe final de validación por parte de la EOD/el OVV a los proponentes del proyecto, para que estos lo remitan al estándar de certificación correspondiente.

El informe de validación describe los procesos de validación, las incidencias planteadas durante los mismos y las soluciones emprendidas, así como las conclusiones alcanzadas por la EOD/el OVV. Si la entidad certificadora es el VCS, la EOD o el OVV deberá emplear el modelo de informe de validación de dicho estándar. El informe de validación deberá ir acompañado de un documento representativo, que se materializará mediante la escritura de representación de la validación del VCS. Otros estándares de certificación requieren únicamente el informe de validación, sin especificar el formato.

El informe debe incluir una declaración de validación en la que se mencione:



- el nivel de aseguramiento de la validación;
- los objetivos, el alcance y los criterios de la validación;
- si la información y los datos que sustentan los asertos en materia de GEI son de naturaleza hipotética, prospectiva o histórica; y
- la conclusión alcanzada por la EOD o el OVV respecto a los asertos en materia de GEI, incluidas posibles calificaciones o limitaciones.

66

La validación es un proceso basado en riesgos, y debe realizarse de conformidad con las normas ISO 14064-3:2006 y ISO 14065:2007. Los auditores deben seleccionar muestras de datos e información para su validación, a fin de proporcionar un nivel de aseguramiento razonable y de cumplir con los requisitos materiales de cada proyecto específico.

En el marco del VCS, debe validar los proyectos una auditoría que cumpla con los criterios de admisibilidad establecidos en la Guía del Programa VCS (véase la sección 5.1 de la misma) y en la norma ISO 14065:2007.

Al validar proyectos en el marco del VCS, las EOD y los OVV deben seguir las directrices indicadas en el Manual de Validación y Verificación del VCS<sup>20</sup>.

En los casos en que un proyecto no cumpla con los criterios necesarios para la validación, la EOD/el OVV deberán emitir una conclusión negativa de validación y suministrar al estándar de certificación el informe correspondiente acompañado de la descripción del proyecto. Como consecuencia, el proyecto en cuestión no podrá ser registrado hasta que se hayan tomado las acciones correctivas necesarias y hasta que no se obtenga una validación positiva por parte de la misma EOD o el mismo OVV que emitió la conclusión negativa original.

## 5. SEGUIMIENTO

Anteriormente, se han desarrollado la definición y los principios del seguimiento junto con su propósito, los datos y los parámetros que deben estar disponibles en el momento de la validación y los que se deben supervisar, así como los planes de supervisión y muestreo. Un plan de seguimiento fructífero y bien concebido debe incluir los siguientes elementos.

### Parámetros de seguimiento

Antes de que se dé comienzo a las actividades del proyecto, de forma óptima durante la fase de planificación, los desarrolladores y proponentes deben tener claros varios aspectos:

- los parámetros que es necesario registrar y supervisar;
- la manera en que se realizará el seguimiento de los mismos;
- si se medirán, se calcularán o se estimarán;
- la frecuencia estimada o necesaria con la que se realizará el seguimiento;
- la cuantía de datos que serán objeto del seguimiento (p. ej., una muestra o el proyecto completo).

### Generación de capacidades

Tanto si los desarrolladores del proyecto trabajan con responsables de seguimiento muy experimentados como si no, y teniendo en cuenta las particularidades de cada proyecto específico, se recomienda capacitar a los responsables de seguimiento con un programa de formación antes de que comiencen su labor. La formación, que puede durar medio día o un día completo, debería abarcar:

- el propósito o los objetivos;
- los métodos empleados;
- un resumen de incidencias o retos potenciales;
- los resultados esperados; y
- las medidas de aseguramiento y control de la calidad puestas en práctica o por ejecutar.

Es recomendable establecer una hoja de firmas para llevar cuenta de la asistencia a cada sesión de formación.

<sup>20</sup> Fuente: [http://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VCS\\_Validation\\_Verification\\_Manual\\_v3.2.pdf](http://verra.org/wp-content/uploads/2018/03/VCS_Validation_Verification_Manual_v3.2.pdf)

### Archivo de datos

El archivado es el proceso que consiste en desplazar documentos que ya no se utilizan activamente a un dispositivo separado de almacenamiento para su conservación a largo plazo. Los documentos archivados siguen revistiendo gran importancia para los proponentes del proyecto y pueden ser necesarios en el futuro. Los archivos deben estar indexados y posibilitar las búsquedas, a fin de facilitar una localización y una recuperación rápida de los documentos.

Si bien ninguno de los estándares de carbono aporta directrices relativas al archivado, las normas generales que pueden seguirse serían:

- archivar los datos de seguimiento después de cada otorgamiento;
- archivar todos los datos de seguimiento durante un período de tres años tras la finalización del proyecto.

### Procedimientos de QA/QC que se deben aplicar

Los términos «control de la calidad» y «aseguramiento de la calidad» suelen utilizarse de forma intercambiable, aunque también pueden interpretarse con significados diferentes.

El **control de la calidad** (a menudo abreviado como QC, por sus siglas en inglés) es un sistema de actividades técnicas rutinarias, puesto en práctica por los responsables del seguimiento, que tiene como objetivo medir y controlar la calidad de los datos a medida que estos van recogiendo. El sistema de QC está diseñado para:

- proveer un sistema rutinario y consistente de puntos de comprobación y documentación para aseverar la integridad, la precisión y la completitud de los datos;
- identificar y reducir errores y omisiones;
- maximizar la coherencia; y
- facilitar los procesos internos y externos de evaluación.

Las tareas de QC incluyen revisiones técnicas, comprobaciones de la precisión y el uso de procesos estandarizados de cara a los cálculos y la cuantificación de emisiones.

El **aseguramiento de la calidad** (a menudo abreviado como QA, por sus siglas en inglés) es un sistema planificado de procesos de evaluación y auditoría lle-

vados a cabo por personal no implicado activamente en el proceso de seguimiento. Las evaluaciones deben ser realizadas por una entidad tercera, independiente y objetiva, que valore la efectividad del desarrollo del programa de QC interno, a fin de aseverar que se cumplan los objetivos de calidad de los datos y de reducir o eliminar la parcialidad inherente de los procesos de seguimiento.

Los proponentes de proyectos deben seguir tres pasos principales para integrar procedimientos de QA/QC en sus procesos de seguimiento:

- establecimiento de un plan escrito de QA/QC;
- ejecución del plan de QA/QC; y
- documentación y emisión de informes sobre las actividades de QA/QC.

El informe del IPCC sobre QA/QC en sistemas de inventarios<sup>21</sup> ofrece más información al respecto.

### Gestión de la calidad y de la incertidumbre

En el caso específico de los proyectos de recuperación de praderas marinas y humedales mareales y otras actividades de restauración de ecosistemas, los PP deben establecer y documentar procedimientos unívocos y estandarizados de operación para garantizar la calidad de los datos y asegurar que las estimaciones de reservas de carbono sean precisas, verificables, transparentes y coherentes a lo largo de distintos períodos de medición. Estos procesos deben incluir, como mínimo, los siguientes aspectos:

- una documentación exhaustiva de todas las mediciones sobre el terreno realizadas en el área del proyecto, lo suficientemente detallada como para permitir la replicación y el muestreo en caso de que cambie el personal en distintos períodos de seguimiento;
- procedimientos de formación para todas las personas implicadas en las mediciones sobre el terreno o en el análisis de datos, una documentación apropiada del alcance y la fecha de todas las sesiones;
- un protocolo para valorar la precisión de las mediciones en el terreno por medio de un control continuo y un plan para la corrección del inventario en caso de detectar algún error;
- protocolos de evaluación de datos para valores atípicos y errores de transcripción, y para garantizar la coherencia en todos los períodos de medición.

<sup>21</sup> Fuente: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/6\\_2\\_QA\\_QC.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/6_2_QA_QC.pdf)

## 6. AUDITORÍA DE VERIFICACIÓN

La verificación tiene lugar una vez que el proyecto lleva en ejecución durante un cierto período de tiempo, que debe ser determinado por los PP siguiendo las orientaciones de la metodología empleada. Se trata de una evaluación ex post de la información y los datos de GEI sometidos a seguimiento. Durante el proceso de verificación, es de esperar que la EOD y el OVV evalúen, además del informe de seguimiento:

- el alcance en que se han ejecutado los métodos y los procedimientos, incluidos los de seguimiento, de conformidad con lo estipulado en la descripción validada del proyecto, lo cual incluye la verificación del cumplimiento del plan de seguimiento; y
- el nivel de precisión material de los niveles de reducción y eliminación de emisiones de GEI estipulados en el informe de seguimiento.

En el marco del VCS, la validación y la verificación de un proyecto pueden correr a cargo de una misma EOD o un mismo OVV, e incluso pueden tener lugar simultáneamente en el momento de la validación.

El proceso de verificación debe seguir la misma secuencia de operaciones que se describió para la validación.



© MARES SOSTENIBLES / UCH

## 7. REGISTRO Y OTORGAMIENTO

Si bien la mayoría de los estándares de certificación requieren el registro de los proyectos después de la fase de validación (p. ej., Gold Standard, MDL) y someten a los mismos a un proceso de registro más o menos exhaustivo (similar al de una auditoría de validación), el VCS suele exigir que el registro tenga lugar antes de que finalice la primera verificación. No obstante, el VSC también ofrece a los proponentes de proyectos la posibilidad de registro después de la validación.

Si se requiere el registro del proyecto antes de la validación, es preciso facilitar a Verra los siguientes documentos:

- el PDD;
- el informe de validación;
- la representación de la validación;
- la representación del registro; y
- cualquier documento específico para AFOLU<sup>22</sup>, un acuerdo de comunicación o un certificado de derechos o de contratación.

Si se requiere el registro del proyecto en el momento de la verificación/otorgamiento, se deberán facilitar a Verra los siguientes documentos adicionales:

- el informe de seguimiento;
- el informe de verificación;
- la representación de la verificación; y
- la representación del otorgamiento.

En el marco del VCS, una vez entregada toda la documentación relevante del proyecto, Verra lleva a cabo una evaluación. La evaluación del proyecto es un proceso de tres etapas, que consta de:

- una verificación completa (realizada por el administrador del registro del VCS) para garantizar que todos los documentos estén completos y debidamente firmados en los casos en que sea necesario, que se hayan realizado los procesos de validación y verificación por parte de una EOD o un OVV admisible y en los plazos establecidos, y que otro programa de GEI no haya emitido certificados de reducción o eliminación de emisiones de GEI para el mismo proyecto;
- una revisión de completitud (ejecutada por Verra) encaminada a decidir si procede llevar a cabo una

<sup>22</sup> Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (del inglés *Agriculture, Forestry and Other Land Use*)

evaluación integral de precisión, cuyo objetivo consiste en garantizar que se haya utilizado la información apropiada para completar todos los documentos del proyecto, que se hayan valorado correctamente la situación de base y la adicionalidad y que los procesos de validación o verificación hayan sido llevados a cabo por una EOD o un OVV admisible; y

- una evaluación de la precisión del registro del proyecto (ejecutada por Verra a su entera discreción), encaminada a aseverar el cumplimiento completo de las normas del VCS en materia de validación o verificación y la aplicación correcta de la metodología correspondiente.

Una vez completado el proceso, Verra enviará sus conclusiones (si procede) a la EOD/el OVV correspondiente, examinará sus respuestas y determinará si el proyecto puede optar a su registro y al otorgamiento de certificados.

El proceso de otorgamiento de bonos de carbono puede transcurrir de forma simultánea al de registro. Las directrices del proceso de registro y otorgamiento del VCS<sup>23</sup> aportan más detalles al respecto.

A fecha de enero de 2021, Verra exige el pago de una tasa única 300 USD en concepto de apertura de cuenta, más una tarifa de mantenimiento 300 USD con periodicidad anual. La tasa de emisión de UVC y todas las tarifas impuestas por Verra son pagaderas en función del volumen de bonos de carbono otorgados (no del volumen total que figura en el informe de verificación) y deben abonarse antes de que se materialicen los bonos de carbono en una cuenta. En proyectos AFOLU, son pagaderas tarifas de 0,16 USD por cada crédito de carbono otorgado (hasta un máximo de 10 000 USD)<sup>24</sup>.

## CONSIDERACIONES ADICIONALES

### Reservas de bonos

A fin de contrarrestar el riesgo de no permanencia asociados a las actividades de proyectos AFOLU, todos los estándares de certificación de carbono más relevantes (a excepción del MDL) requieren que los proyectos prevean una reserva de bonos con los que no se podrá comerciar, con el objetivo de compensar pérdidas imprevistas de reservas de carbono. Los bonos de reserva de todos los proyectos se almacenan en una única cuenta de reserva AFOLU específica a la que es posible recurrir en caso de que se produzca una modificación en las reservas de carbono de cualquier proyecto particular.

En el marco del VCS, el número de bonos de carbono que deben destinarse a la cuenta de reserva se determina a partir de un informe de riesgo de no permanencia que debe valorar y emitir la EOD o el OVV a cargo, de conformidad con las condiciones establecidas por los requisitos del VCS para proyectos AFOLU<sup>25</sup>.

En el marco del VCS, los bonos de reserva se cancelan de la cuenta de reserva AFOLU cuando hay un balance neto negativo de reducción o eliminación de emisiones de GEI asociado al proyecto en cuestión.

<sup>23</sup> Véase la sección procedimental en <https://verra.org/project/vcs-program/rules-and-requirements/>

<sup>24</sup> Plan de tarifas del VCS: <https://verra.org/oprfeeschedule/>

<sup>25</sup> Véase la sección de requisitos en la página web de Verra (en inglés): <https://verra.org/project/vcs-program/rules-and-requirements/>

## Programas de actividades (PdA) o proyectos grupales

Un PdA (o proyecto grupal, según la nomenclatura del VCS) es una acción conjunta voluntaria emprendida por varios PP para coordinar y ejecutar políticas, medidas u objetivos declarados (esquemas de incentivos o programas voluntarios) encaminados a lograr reducciones de las emisiones de GEI o eliminaciones netas de GEI antropogénicos, con carácter de adicionalidad respecto a la situación que se daría en ausencia del PdA, por medio de un número ilimitado de actividades de proyectos componentes.

Algunos tipos de proyectos de menor escala (en términos de los niveles eliminados o reducidos de GEI) pueden revestir costes considerables de transacción que menoscaban la contribución que supondría la venta de los bonos de carbono. Existen umbrales bajo los cuales el impacto individual de un proyecto de GEI se considera demasiado pequeño como para sacar partido del desarrollo de activos de carbono. Una buena manera de superar estas dificultades consiste en agrupar proyectos similares para conformar juntos uno de mayor escala.

Además, los PdA ofrecen un alto nivel de flexibilidad en lo que respecta al momento de inclusión de ciertas áreas o ciertos tipos de actividades, ya que no es preciso conocer con antelación la ubicación o el tiempo de ejecución.

Puesto que no es posible convertir un proyecto en un PdA con posterioridad, es conveniente que los proponentes decidan si quieren desarrollar un PdA en la etapa de la creación del PDD.

Cuando se opta por un enfoque de PdA, los desarrolladores del proyecto obtienen la validación de la documentación entendida como un marco al cual se pueden adherir múltiples proyectos con posterioridad.

En el marco del VCS, el PDD debe cumplir con los criterios de admisibilidad para la inclusión de nuevas actividades del proyecto; estas deberán:

- cumplir con las condiciones de aplicabilidad de la metodología empleada para la cuantificación de GEI;
- aplicar las tecnologías o medidas previamente establecidas y especificadas en la descripción del proyecto;

- partir de la situación de base determinada en la descripción del proyecto para la actividad y el área geográfica especificadas;
- disponer de características de adicionalidad coherentes con las inicialmente previstas por el proyecto para la actividad y el área geográfica especificadas; y
- cumplir con los métodos de evaluación de emisiones fugitivas establecidos como modelo.

De este modo, los PdA crean una estructura a modo de paraguas, compatible con la inclusión de conjuntos variados e ilimitados de subproyectos con el transcurso del tiempo.

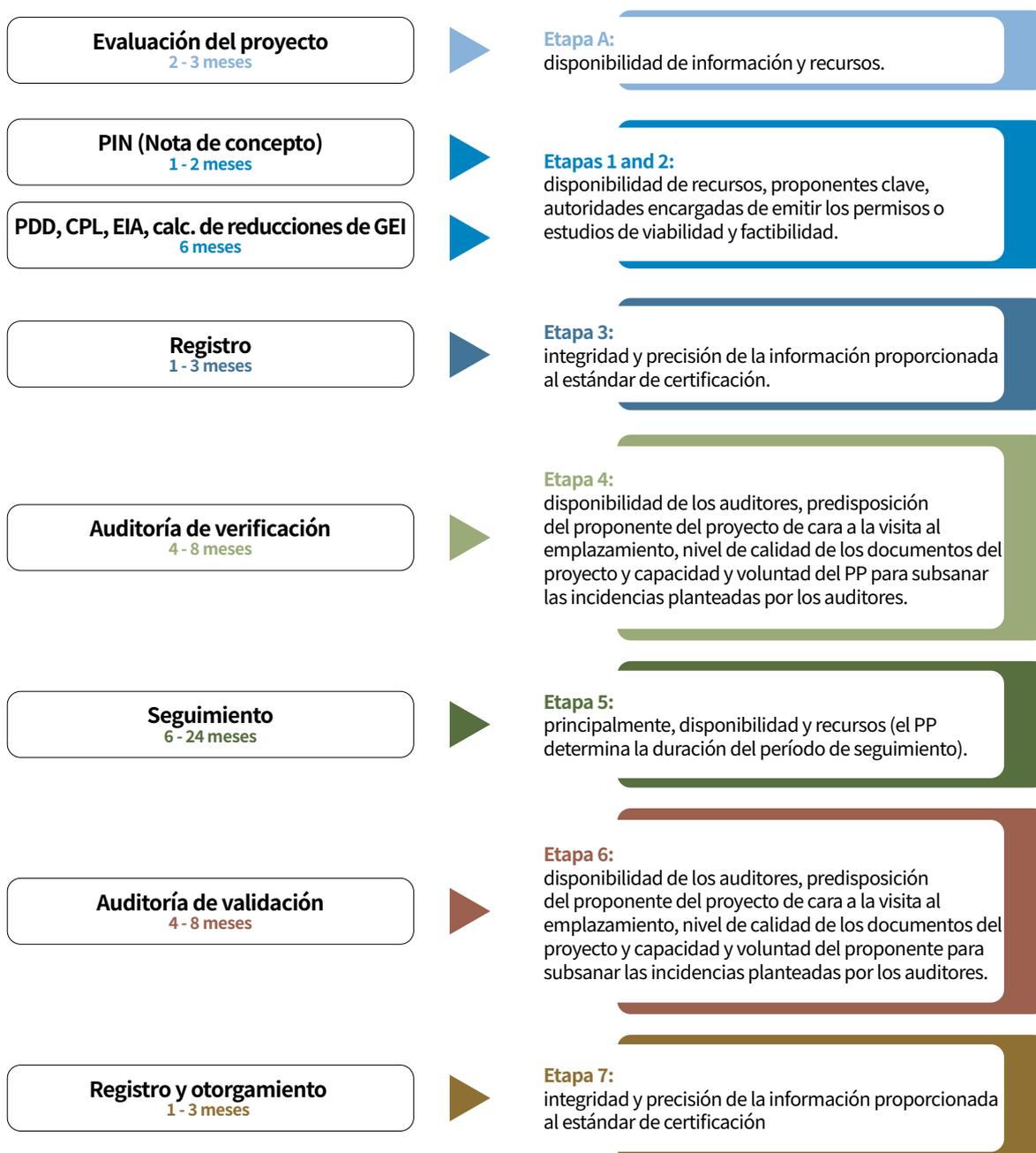
A continuación, se indican algunas ventajas de los PdA:

- Permiten la inclusión periódica de proyectos individuales a medida que se va desarrollando el programa.
- Permiten acortar el tiempo necesario para la inclusión de un proyecto en los estándares a cuestión de semanas, en vez de años. Dado que los proyectos solo pueden rendir bonos de carbono desde el momento de su registro, los retrasos generados a tenor de los largos procesos de validación y registro pueden tener un coste considerable en términos de tiempo y recursos tanto para desarrolladores como para inversores, e incluso traducirse en pérdidas relativas a la venta de los bonos; los PdA permiten mitigar este riesgo, ya que ofrecen procesos rápidos de «inclusión».
- Ofrecen la posibilidad de replicar proyectos de forma ilimitada bajo un mismo paraguas, lo que permite a los desarrolladores ampliar la cobertura geográfica a distintos países receptores.
- Permiten a las compañías más innovadoras el registro de un PdA y la apertura de este para acoger proyectos ejecutados por otros desarrolladores.

## LÍNEA TEMPORAL PREVISTA PARA LA CERTIFICACIÓN PLENA Y EL OTORGAMIENTO

La figura 19 muestra la línea temporal del proceso de certificación. La duración de cada una de las etapas puede variar.

Figura 19: Línea temporal aproximada de certificación. Fuente: Hamerkop Climate Impacts.



## CAPÍTULO 5: CONCEPTUALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE CARBONO AZUL





## PLANIFICACIÓN DE UN PROYECTO DE CARBONO AZUL

Se consideran proyectos de carbono azul aquellos que tienen como objetivo (1) potenciar el servicio de eliminación de carbono atmosférico (GEI) que presta un ecosistema de carbono azul, (2) proteger las reservas de carbono acumuladas, o (3) desarrollar un nuevo ecosistema de carbono azul. La manera de lograr estos objetivos depende de las ubicaciones y los ecosistemas específicos.

Para poder acceder a los mercados de carbono, un proyecto debe ejecutar metodologías capaces de demostrar que las actividades adicionales puestas en marcha en el marco del mismo han contribuido a la acumulación del CO<sub>2</sub> y no a su emisión. En general, esto supone dos fases de conceptualización del proyecto: la recopilación de información ya existente y la confección del programa de supervisión. La cuestión de qué variables deben estimarse (y en qué momento) difiere en gran medida de un proyecto a otro (véase el capítulo 6).

La gama de actividades relacionadas con el carbono azul incluye la conservación (la prevención de la emisión de GEI a la atmósfera) y la restauración/regeneración (establecimiento de sistemas de absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico o reducción de las emisiones de CH<sub>4</sub>). Esto significa que un proyecto de carbono azul puede proteger un ecosistema contra la degradación (p. ej., causada por la desaparición de vegetación o por la pérdida o la oxidación del carbono presente en los suelos de los humedales) o capturar carbono mediante la generación de vegetación que actúa como sumidero (p. ej., restaurando la vegetación de marismas mareales o praderas marinas); para ello, es preciso potenciar el almacenamiento de carbono en suelos y sedimentos (p. ej., induciendo la producción de residuos procedentes de plantas y creando las condiciones hidrológicas necesarias) o reinstaurar las condiciones de salinidad para reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> (capítulo 8).

Las secciones siguientes proponen un enfoque general para la configuración de un proyecto.

Antes que nada, es preciso delimitar la zona del proyecto y sus límites, así como comprobar su viabilidad. A la hora de analizar la viabilidad de un proyecto, es preciso tener en cuenta los siguientes factores:

- **Viabilidad técnica:** ¿qué posibilidades de éxito tiene un proyecto de carbono azul en esta ubicación? ¿Es posible restaurar, proteger o generar una marisma o una pradera marina en la ubicación determinada? ¿Son las condiciones bióticas y abióticas de la ubicación apropiadas para la restauración?
- **Permisos:** ¿es posible obtener un permiso de las autoridades locales o regionales para llevar a cabo el proyecto?
- **Apoyo de partes interesadas:** ¿apoyan los participantes locales el proyecto de carbono azul?
- **Adicionalidad:** ¿contribuirá el proyecto de carbono azul a reducir las emisiones de GEI por encima de los niveles actuales?

### Algunos ejemplos de proyectos de carbono azul:



#### EN MARISMAS SALADAS COSTERAS:

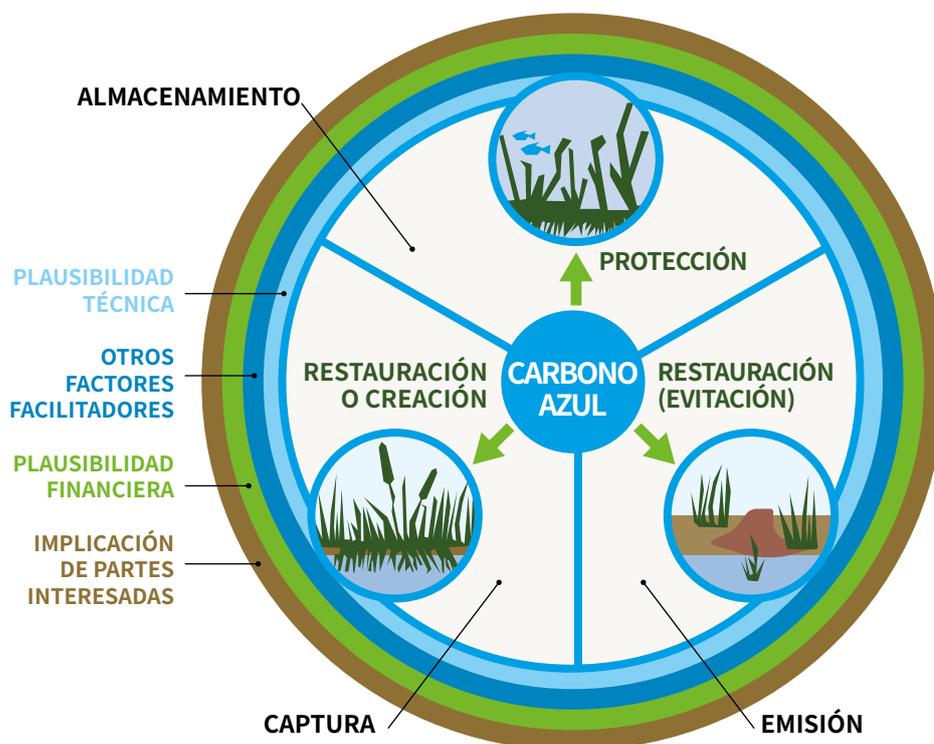
- restauración de marismas;
- creación de marismas artificiales (repoblación);
- mejora de marismas deterioradas;
- creación de áreas protegidas;
- conservación a través de medidas preventivas.



#### IN SEAGRASSES:

- restauración de las áreas degradadas en una pradera viva;
- revegetación de áreas degradadas;
- reducción de la materia orgánica/la intrusión química en el área de influencia;
- restauración del hidrodinamismo natural (p. ej., captura de sedimentos de los ríos);
- creación de áreas protegidas;
- conservación a través de medidas preventivas (p. ej., instalación de ecoboyas o arrecifes artificiales).

**Figura 20:** Representación gráfica de los tipos de actividades y los resultados esperados de los proyectos de carbono azul, así como de los factores facilitadores. Un proyecto puede generar emisiones netas negativas evitando la liberación de CO<sub>2</sub> mediante la reducción de la oxidación del carbono orgánico del suelo (pérdidas evitadas o stop-loss), o bien aumentando la absorción de CO<sub>2</sub> mediante el aumento de la captura de carbono en suelos y plantas a través de medidas para potenciar la protección, la restauración o la creación.



A la hora de explorar el potencial de carbono azul de un proyecto, es importante determinar las reservas o los flujos de carbono en la zona específica del proyecto; para ello, si ya hay un hábitat de carbono azul en la zona, es posible llevar a cabo medidas de carbono azul en la misma. Si no hay un hábitat de carbono azul, pueden emplearse ubicaciones de referencia para determinar el futuro potencial del proyecto.

También es preciso determinar la viabilidad financiera, a saber, qué gastos implicará el proyecto de carbono azul propuesto y qué oportunidades hay para vincularlo con otros proyectos de la zona, a fin de generar financiación adicional. En esta etapa, resulta también de interés analizar el precio del proyecto por unidad de carbono capturada, lo que puede abrir perspectivas sobre el precio de los futuros bonos de carbono [65].

Si se llevan a cabo con éxito todas las etapas anteriores, es posible ejecutar un proyecto de carbono azul, que deberá someterse a la supervisión exhaustiva de las reservas reales de carbono en la zona del proyecto.

En Europa, el potencial de ejecución de proyectos de restauración de carbono azul se ve limitado principalmente por el coste económico. Aunque existen excepciones, el valor de mercado del carbono capturado gracias al proyecto, por sí mismo, no suele ser suficiente como para amortizar todo el coste de un proyecto de restauración. Sin embargo, los beneficios de la restauración de ecosistemas de carbono azul van mucho más allá de la mera captura de carbono; por este motivo, los bonos de carbono generados por el proyecto pueden anunciarse en los mercados de carbono voluntarios a precios muy superiores a los que se obtendrían en los mercados de cumplimiento regulado.

Hace ya mucho tiempo que se reconoce la importancia de los ecosistemas de carbono azul, por lo que ya se han puesto en marcha muchas medidas de restauración de dichas áreas antes de que se creasen los mercados de carbono. Las acciones relacionadas con el carbono azul son mucho más efectivas cuando se integran en proyectos de restauración de mayor alcance que cuando se plantean como objetivo único o como fuente de financiación.

## ACTIVIDADES Y SALVAGUARDAS PARA PROYECTOS DE CARBONO AZUL

Las salvaguardas constituyen un conjunto de principios, normas y procedimientos puestos en marcha para lograr objetivos sociales y medioambientales. A medida que los programas de compensación continúan evolucionando, también lo hacen las salvaguardas con principio y criterios destinados a abordar las exigencias de la sociedad [66]. Los estándares voluntarios para proyectos de compensación, de carácter más ambicioso en sus proyectos y criterios, subrayan la importancia no solo de proteger, sino también de mejorar las condiciones sociales y medioambientales. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de los estándares de salvaguarda exigidos actualmente por los mecanismos voluntarios emplean elementos tanto sustantivos (principios y normas de salvaguarda) como procedimentales. Si bien los métodos de implementación son variables, muchos estándares adoptan un enfoque de «principios, criterios e indicadores», en el que las partes establecen un conjunto de principios y normas generales (p. ej., contribución a la buena gobernanza); posteriormente, detallan una lista de criterios que se deben cumplir para garantizar el cumplimiento de la máxima general (p. ej., se definen claramente las estructuras de gobernanza, con transparencia y responsabilidad); finalmente, facilitan una lista de indicadores que se deben manifestar para demostrar el cumplimiento con los criterios dados (p. ej., publicación de información sobre las decisiones en materia de gobernanza). En cambio, los procedimientos delimitan las tareas de implementación, supervisión y ejecución de las salvaguardas.

Con un enfoque similar, el Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) incluye un conjunto de criterios y principios de salvaguarda, con indicadores para «certificar» que las acciones y los proyectos «protegerán, restaurarán y gestionarán sosteniblemente ecosistemas naturales o modificados, abordarán los retos sociales en origen de forma efectiva y adaptativa y, simultáneamente, aportarán beneficios en materia de biodiversidad y bienestar para las personas» (UICN, 2020). En general,

las compensaciones de carbono y las salvaguardas de SbN ayudan a los proyectos a identificar, prevenir y mitigar las consecuencias negativas inesperadas que pueden surgir de una intervención concreta. Es importante contar con salvaguardas fiables tanto para asegurarse de no perjudicar los resultados de desarrollo de los trabajos de conservación como para granjearse apoyos públicos para la acción climática (GS, 2017).

Aplicando este razonamiento en el contexto de los proyectos de carbono azul para las regiones mediterráneas y europeas, en esta sección se ofrece un conjunto de principios genéricos para la salvaguarda de condiciones sociales y medioambientales, a modo de orientación general para desarrolladores de proyectos e iniciativas y estándares de financiamiento climático (y compensación). Las salvaguardas propuestas derivan de numerosas consultas con partes implicadas en futuros proyectos de compensación de carbono azul a nivel regional, con la participación de consultorías sobre financiamiento climático, desarrolladores de proyectos forestales de compensación, organismos climáticos nacionales y regionales, ONG, científicos especializados en carbono azul y gestores de áreas protegidas, así como gestores y equipos técnicos de diversas agencias e instituciones medioambientales regionales<sup>26</sup>. Estas salvaguardas tienen como objetivo identificar potenciales riesgos y resultados negativos en términos de condiciones sociales, económicas y medioambientales, así como subrayar la importancia de la buena gobernanza, los beneficios para la biodiversidad y la contribución a los objetivos de desarrollo sostenible y lucha contra el cambio climático.

A medida que se van desarrollando más proyectos de carbono en la región, nuevos mecanismos de financiamiento y compensación de carbono podrían desarrollar nuevos principios de salvaguarda para los estándares que un proyecto tendría que cumplir durante todo su ciclo.

<sup>26</sup> LIFE BlueNatura: Informes UICN.

## Principios generales de salvaguarda propuestos para proyectos de carbono azul en Europa y en el Mediterráneo.

### ASPECTOS SOCIALES Y DE GOBERNANZA

- El proyecto incluye acciones de **divulgación, sensibilización y formación** para participantes locales.
- El proyecto buscará la **participación de participantes locales** durante su preparación y su ejecución.
- El proyecto **conciliará sus prácticas** para garantizar otros objetivos (de la comunidad).
- El proyecto promueve la **igualdad de géneros**.

### ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

- El proyecto es **compatible con otros valores ecológicos** y con otros hábitats y especies protegidos y prioritarios.
- Tiene como objetivo **augmentar los servicios ecosistémicos**.
- Garantiza que **no se reducirá el nivel freático**.
- Establece procedimientos que emplean, en la medida de lo posible, **materiales naturales**.
- Tiene como objetivo la **estabilización de la marisma** en su sistema hidrológico o mareal natural.
- Si se llevan a cabo trabajos de reforestación o repoblación, empleará **especies autóctonas** adaptadas al lugar de ubicación del proyecto.
- Después de la ejecución de un proyecto de humedales, la ubicación del proyecto se encuentra en una **zona mareal** (marisma salada mesohalina o polihalina).
- El proyecto **no genera efectos negativos** (desplazamiento de emisiones o de actividades susceptibles de tener impacto en otras ubicaciones); en caso de generarlos, se cuantifican o se compensan, o se corrige su impacto.

### ASPECTOS PROCEDIMENTALES

- El proyecto es **reproducibile**.
- Es **medible, verificable y notificable** para garantizar la transparencia y la trazabilidad.
- La estructura de la gobernanza es **transparente** y está **claramente definida**.
- El proyecto toma en consideración los **efectos del cambio climático** y otros riesgos.
- Se ha **cuantificado** el balance de todos los GEI.
- El proyecto garantiza la **disponibilidad del suelo a largo plazo**.
- Tiene como objetivo mejorar la **calidad del agua**, o asegurarse de que el nivel de calidad sea igual o superior al exigido por un control.
- Todo trabajo de restauración hidrológica desarrollado en humedales costeros evita las **emisiones de metano**.
- Incluye un modelo/plan de gestión para la **ubicación del proyecto**.
- Considera la **viabilidad económica** del proyecto antes de su ejecución.
- El proyecto contribuye a los objetivos de **desarrollo sostenible**.

## RESERVORIOS DE CARBONO

Para caracterizar un ecosistema de carbono azul, se estiman dos parámetros principales: las **reservas de carbono** y la **tasa de captura de carbono**, también conocida como flujo de carbono hacia el suelo. Con «reservas de carbono» se hace referencia a la cantidad de carbono almacenado en una superficie conocida. La tasa de captura de carbono hace referencia a la cantidad de carbono atrapada por una superficie durante un tiempo determinado. Las reservas indican cuánto carbono hay retenido por un ecosistema en un momento dado, mientras que la tasa de captura indica cuánto carbono retira de la atmósfera o del océano, o lo que es lo mismo, su eficiencia como reservorio de carbono.

Existe una relación temporal entre estos dos parámetros; conocer las reservas de carbono de un ecosistema y el momento temporal en que este se estableció permite calcular la tasa media de captura de carbono. Aunque la situación se da con relativa frecuencia, unas reservas abundantes de carbono no implican necesariamente una elevada tasa de captura de carbono (véase el capítulo 7 para la metodología de cálculo), y viceversa. En otras palabras, nuestro ecosistema puede haber acumulado carbono durante miles de años y disponer de grandes reservas, pero, si la cantidad de carbono que captura al año es escasa, su tasa de captura es baja y, por tanto, también lo es su eficiencia como sumidero de carbono. Puede darse también la situación opuesta, es decir, que el ecosistema sea un eficiente sumidero de carbono disponga de reservas bajas porque lleva pocos años acumulando este elemento.

Los proyectos deben responder también por todas las fuentes o sumideros significativos de **otros gases de efecto invernadero, como el CH<sub>4</sub> y el N<sub>2</sub>O**, que sean razonablemente atribuibles a las actividades. Por ejemplo, el VCS establece el umbral de *minimis* en menos del 5 % del beneficio de GEI: los flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O inferiores a este valor se descuentan de la cuantificación de compensaciones. En el marco de los humedales costeros, es preciso poner especial atención a la hora de cuantificar estas emisiones, ya que algunos proyectos pueden incorporar beneficios a este respecto (p. ej., el aumento de las aguas salinas puede reducir las emisiones de CH<sub>4</sub> y restablecer la captura de carbono).

La mayoría de los proyectos de carbono azul tendrán interés en fomentar la capacidad de eliminación de carbono del ecosistema, es decir, su eficiencia. Por ello, será necesario demostrar que la tasa de captura de carbono ha aumentado tras la intervención del proyecto. Por otra parte, el proyecto puede tener como premisa la prevención de la pérdida de las reservas existentes: en este caso, deberá medir dichas reservas y estimar las pérdidas evitadas. Estos dos factores suelen medirse en tándem, estimando las tasas de captura a partir de las reservas y de la tasa medida de acreción. Sin embargo, si solo se tiene interés en uno de ellos, puede ser económicamente rentable estimar solo el factor en cuestión.

Los ecosistemas de carbono azul son espacialmente heterogéneos; sus reservas y tasas de captura de carbono varían de un ecosistema a otro e incluso entre áreas distintas del mismo ecosistema. Además, la concentración de carbono en el suelo cambia también en función de la profundidad, debido a la degradación y a las variaciones temporales de su acumulación. Por lo tanto, es esperable encontrarse con condiciones variables según el espacio y la profundidad. Para captar la variabilidad espacial en el suelo, es preciso tomar muestras duplicadas de núcleos; para captar la variabilidad de profundidad, los núcleos se dividen en varias muestras (véase el capítulo 6 para más detalles).

Si un proyecto de carbono se centra únicamente en las reservas del suelo o en la tasa media de captura, no será preciso captar la variabilidad de profundidad siempre que los núcleos extraídos tengan la misma profundidad, que se muestree toda la profundidad del suelo a la hora de estimar las reservas o que los núcleos abarquen el mismo marco temporal a la hora de estimar las tasas de captura; esto nos permitirá establecer una comparación entre núcleos.

No hay un diseño específico de muestreo ni un protocolo de laboratorio establecido para desarrollar todos los proyectos de carbono azul. Un ecosistema de carbono azul puede ser de especial interés para el desarrollo de proyectos contra la erosión capaces de garantizar la estabilidad de las reservas, mientras que otros ecosistemas pueden tener un gran potencial para fomentar la eficiencia de captura de carbono. A objetivos diferentes, los parámetros estimados y

los diseños de muestreo difieren también. En esta sección nos dispondremos a sintetizar el protocolo general que se sigue para estimar las reservas de carbono azul y las tasas de captura en Europa y en la cuenca mediterránea, y ofreceremos referencias para obtener más información. Las etapas y los indicadores

propuestos se basan en gran medida en las directrices de medición para la captura de carbono forestal [67], el Manual de carbono azul costero de Blue Carbon Initiative [65], el proyecto LIFE Blue Natura (2016-2020) [22, 32] y las directrices establecidas para otros ecosistemas regionales de carbono azul [68].



### Ecosistemas costeros de carbono azul como emisores de GEI.

Los ecosistemas de carbono azul son también emisores de GEI como el  $\text{CO}_2$ , el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{N}_2\text{O}$ , procedentes fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica atrapada en los suelos. Las marismas saladas emiten más metano que las praderas marinas (un 70 % más); sin embargo, hay una gran variabilidad dentro de estos ecosistemas: los flujos de  $\text{CH}_4$  en las marismas saladas alcanzan  $224,44 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$  de media, con variaciones de entre  $-92,60$  y  $94,13 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , mientras que su valor medio en sistemas de praderas marinas es de  $64,8 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , con variaciones de entre  $1,25$  y  $401,50 \mu\text{mol CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Esto se debe al carácter altamente variable de las condiciones que propician estos ecosistemas, incluidas la disponibilidad y la calidad de la materia orgánica y otros factores como el tipo de vegetación, la concentración de  $\text{O}_2$ , la salinidad y las aguas subterráneas [73].

La salinidad es un factor clave de control de las emisiones de metano en marismas saladas: a mayor salinidad, menor emisión de  $\text{CH}_4$ ; así pues, las emisiones de metano de las marismas saladas son bajas en comparación con las de los humedales de agua dulce.

La degradación de los ecosistemas de carbono azul puede aumentar la emisión de metano de uno a dos órdenes de magnitud [74]. No obstante, ciertas acciones de gestión específicamente diseñadas pueden atenuar las emisiones de GEI. Las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  pueden ser entre insignificantes e inexistentes en áreas impolutas, pero pueden ser considerables en zonas degradadas [75].

## IDENTIFICACIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO Y PLAN DE MUESTREO

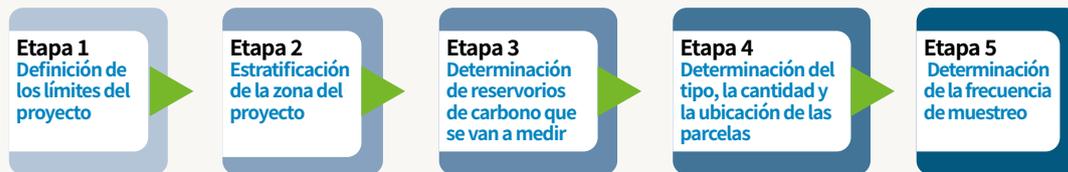
La definición clara de los objetivos del proyecto constituye una fase importante del proceso de planificación. Los propósitos, los objetivos y los recursos disponibles del proyecto determinarán los parámetros estimados, los reservorios de carbono que se deben medir, el alcance geográfico y temporal de las muestras y la exhaustividad del muestreo. Durante la planificación, es preciso respetar una serie de etapas lógicas, que incluyen:

- a) los objetivos y el alcance del proyecto;
- b) la estrategia de toma de muestras sobre el terreno;
- c) el análisis de las muestras en el laboratorio;
- d) el análisis estadístico y la interpretación de resultados para toda la zona del proyecto.

### Definición del alcance y los objetivos del proyecto

La definición de los objetivos del proyecto es importante para el desarrollo de la estrategia de muestreo; por ello, es preciso establecer claramente estos objetivos y los propósitos antes de empezar a diseñar la toma de muestras. La figura 21 muestra las etapas requeridas para diseñar con éxito una estrategia de muestreo que cumpla con los objetivos del proyecto.

**Figura 21:** Etapas requeridas para diseñar con éxito una estrategia de muestreo que cumpla con los objetivos del proyecto. Manual de carbono azul costero de Blue Carbon Initiative [2].



### Etapa 1: Límites del proyecto

La cobertura espacial del proyecto se define a partir de los objetivos de este y los recursos disponibles, y puede ser de escala variable. Un ecosistema de carbono azul puede estar distribuido de forma continua o fragmentada por una zona de gran superficie. Es preciso cartografiar y definir claramente los límites, con información relativa al alcance íntegro de las condiciones bajo las cuales se desarrolla el ecosistema. Los mapas deben recoger toda la información disponible acerca de su distribución (continua o fragmentada)

y de las características fisicoquímicas y de salud que pueden influir en ella. Los límites no deberían modificarse una vez cartografiados; no obstante, si es perentorio realizar cambios, estos deberán documentarse fielmente para que las estimaciones de reservas de carbono y tasas de captura puedan ajustarse a las modificaciones de la zona.



Planificación de límites del proyecto para estimar reservas de carbono azul. Life Blue Natura, Andalucía

## Etapa 2: Estratificación de la zona de muestreo

La estratificación es la clasificación de un área de muestreo en zonas o estratos de características similares. Se utiliza para reducir los costes de muestreo, ya que las reservas subterráneas de carbono no son homogéneas. Una vez definida el área de muestreo, puede dar comienzo la estratificación, consistente en agrupar en estratos aquellas zonas con reservas de carbono similares. Si no se conocen las reservas reales de carbono en la zona, los estratos pueden definirse a partir de los factores que influyen en las reservas, p. ej., la profundidad, la temperatura del agua, las características del sustrato (rocoso o arenoso), la exposición al oleaje, los nutrientes, los niveles de sedimentación y la temperatura del agua [69-71]. Sin embargo, es preciso alcanzar un equilibrio entre el número de estratos definidos y los recursos y el tiempo disponibles [65].

Un factor claro que suele usarse para estratificar marismas costeras radica en la comunidad vegetal, ya que suele estar determinada por algunas condiciones medioambientales que coinciden con las que rigen la acumulación de carbono. Normalmente, es posible determinar con facilidad tres áreas a partir de su comunidad vegetal: (1) marisma alta, con la menor influencia mareal; (2) marisma media, que es la zona inundada en marea alta; y (3) marisma baja, en cuya superficie el suelo se mantiene permanentemente saturado de agua. Las praderas marinas se suelen

estratificar mediante batimetría; p. ej., en Andalucía, el proyecto LIFE Blue Natura ha estratificado las zonas de praderas marinas en estratos superficiales (1-6,9 m), intermedios (7-15 m) y profundos (>15 m), y también en función de la salud de las praderas (sanas, degradadas o muertas) [72]. Entre otras, también constituyen condiciones que pueden emplearse para la estratificación el hecho de que una zona esté influida o no por la pluma de un río, las especies vegetales predominantes, la densidad de cobertura vegetal o el carácter más abierto o cerrado de una ubicación.

## Etapa 3: Reservorios de carbono que serán objeto de medición

Los reservorios de carbono medidos con mayor frecuencia en los ecosistemas de carbono azul son la biomasa viva superficial, la biomasa viva subterránea (raíces y rizomas) y el carbono del suelo, formado por raíces y rizomas muertos y materia orgánica del suelo. Algunas evaluaciones pueden requerir tomar también muestras del carbono muerto de la superficie, que consta de materia orgánica procedente tanto de restos de hojas de las praderas marinas (carbono autóctono) como de hábitats costeros o terrestres cercanos (carbono alóctono). Algunos estándares requieren la evaluación de todos los reservorios. Por lo general, solo se muestrea el reservorio de carbono:

- a) si conforma un porcentaje significativo (> 5 %) de las reservas totales; o
- b) si no se conoce sus características; o
- c) si sufre modificaciones o se prevé que las sufra de forma significativa.

Para mejorar la adicionalidad de un proyecto de carbono azul, solo es necesario medir los reservorios afectados por la intervención propuesta; en la sección anterior se incluyen algunos ejemplos. Estudios recientes apuntan a que, en comparación con los manglares, la mayor parte del carbono almacenado en praderas marinas y marismas costeras pertenece se integra en el carbono del suelo (hasta el 98 % y el 99 %, respectivamente) [22, 23]. Por tanto, este manual se centra en el muestreo y las estimaciones de este compartimento.

## Veamos algunos ejemplos:

PROYECTO:

### Evitar el enterramiento de una pradera de *Zostera*

PARÁMETROS QUE DEBEN ESTIMARSE

#### Flujos del suelo y reservas presentes en la biomasa

La construcción de un muelle a la entrada de una pequeña bahía ha supuesto el enterramiento de una pradera de *Zostera*. Está prevista la construcción de un muelle similar en otra bahía de pequeño tamaño. La evaluación de impacto medioambiental predice el mismo resultado para la pradera de *Zostera* en la segunda bahía. La modificación del proyecto de construcción de forma que se posibilite la circulación de agua por debajo del muelle prevendría la acumulación de sedimentos en la bahía, con lo que se evitaría el enterramiento de la pradera. Queremos calcular cuánto carbono quedaría capturado o no se emitiría a la atmósfera gracias a esta modificación. Si la pradera no queda enterrada, se mantiene su capacidad de captura de carbono, es decir, la tasa de captura de carbono en el suelo. Las reservas se conservarían incluso aunque se enterrase la pradera, por lo que no podemos contarlas como parte del resultado de nuestra intervención y no es necesario estimarlas. Por otra parte, si el enterramiento se produce rápidamente, quedarían atrapadas también las reservas de la biomasa, mientras que un enterramiento lento a lo largo de varios meses supondría la muerte y descomposición de las plantas, (con la consiguiente emisión de CO<sub>2</sub>). Por tanto, dado que podemos afirmar que nuestra acción también prevendría la emisión de estas reservas de carbono, mediremos las reservas presentes en la biomasa.



© M. OTERO / IUGN

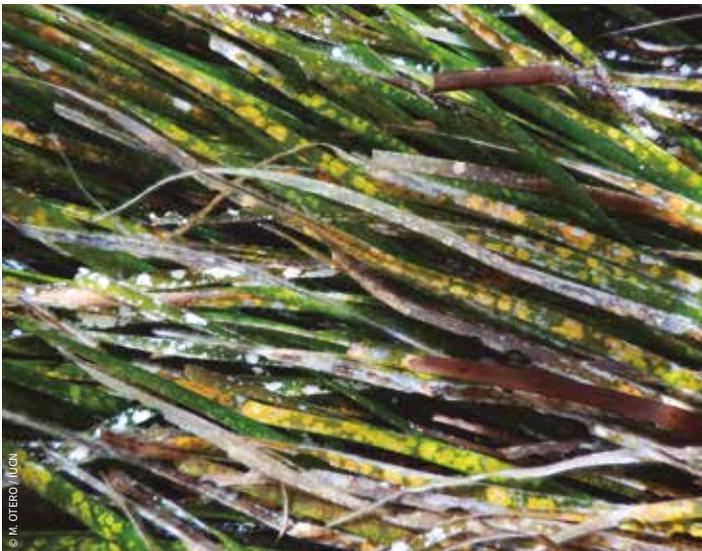
PROYECTO:

### Evitar la erosión de la parte superior de una mata de *Posidonia*

PARÁMETROS QUE DEBEN ESTIMARSE

#### Reservas de carbono en el suelo

Se están erosionando los 30 cm superiores de una mata de *Posidonia* (el sustrato rico en carbono orgánico que se forma bajo algunas praderas de *Posidonia*). Estamos desarrollando un proyecto para evitar esta erosión. En este caso, nos interesa medir las reservas de carbono del suelo, dado que nuestra acción evitaría su liberación; por ello, estimaremos las reservas de los 30 cm superiores que corren peligro de resultar deteriorados como resultado de la erosión. Dado que no nos interesa la variación en profundidad de las concentraciones de carbono en el suelo, podemos analizar el núcleo entero como una única muestra (véase la sección relativa al submuestreo del núcleo) y aprovechar el presupuesto que nos ahorramos para extraer más núcleos que nos permitan captar mejor la variabilidad espacial de la pradera.



© M. OTERO / IUGN

PROYECTO:

### Revegetación de una marisma costera

PARÁMETROS QUE DEBEN ESTIMARSE

#### Flujos adicionales de carbono al suelo, reservas presentes en la biomasa

Se ha utilizado una marisma salada costera como vertedero de desechos de construcción. Queremos eliminar los escombros y restaurar la vegetación, con lo que estimularíamos la capacidad de la zona para actuar como sumidero de carbono. Necesitaremos medir la tasa de captura de carbono al suelo antes y después del proyecto. Podemos hacerlo de dos maneras: podemos extraer núcleos de suelo antes del proyecto y estimar las tasas de captura de carbono de los años pasados mediante técnicas de datación; por otra parte, podemos dejar una pequeña superficie sin restaurar e implementar un método de estimación de la tasa de acreción de sedimentos (p. ej., un marcador horizontal) tanto en la superficie vegetada como en la no vegetada (con al menos tres réplicas), lo que nos permitirá comparar las tasas de captura con nuestra intervención y sin ella durante todo el período del proyecto de carbono azul. Además, puesto que la nueva cubierta vegetal también generaría biomasa como resultado de nuestra intervención, tendríamos que medir también las reservas presentes en la biomasa.



© EPHOTO CORP. / DREAMS TIME

83



© MANNIS ISBARIS / HGMR

PROYECTO:

### Realizar el inventario de los flujos y las reservas de carbono en el suelo

PARÁMETROS QUE DEBEN ESTIMARSE

#### Reservas y flujos de carbono en el suelo

Se nos ha encargado la realización del inventario de reservas de carbono y tasas de captura de una superficie. Dado que tenemos que estimar las cantidades retenidas y cuánto se ha capturado en las últimas décadas (y no resulta informativamente relevante la tasa de captura actual, que puede no ser representativa de la tasa media de captura del ecosistema), tendremos que extraer núcleos y datarlos para deducir la tasa media de acreción.

## Etapa 4: Determinación del tipo, la cantidad y la ubicación de las parcelas

### Tipo

Las parcelas temporales son más económicas, más sencillas y de más fácil acceso. Son útiles para evaluaciones únicas de carbono; por ejemplo, para determinar las reservas de carbono de una zona. En cambio, las parcelas permanentes permiten una comparación directa a lo largo del tiempo para evaluar cambios en las reservas de carbono, p. ej., derivados del cambio climático o de las acciones antropogénicas; su desventaja radica en que sus procesos de muestreo y configuración son más lentos y costosos, ya que deben instalarse marcadores permanentes. Además, se recomienda estimar al alza el número de parcelas necesarias para trabajos permanentes, ya que es habitual perder algunas de ellas con el paso del tiempo. Puesto que los proyectos de carbono azul requieren un programa de supervisión, son recomendables las parcelas permanentes.

### Cantidad

La cantidad de parcelas seleccionadas depende de la precisión necesaria para las estimaciones de reservas de carbono y la variabilidad de estas en cada estrato del suelo. Para los proyectos del estándar REDD+, un objetivo habitual de incertidumbre es menos del 15 % de la media con un intervalo de confianza del 95 % [76].

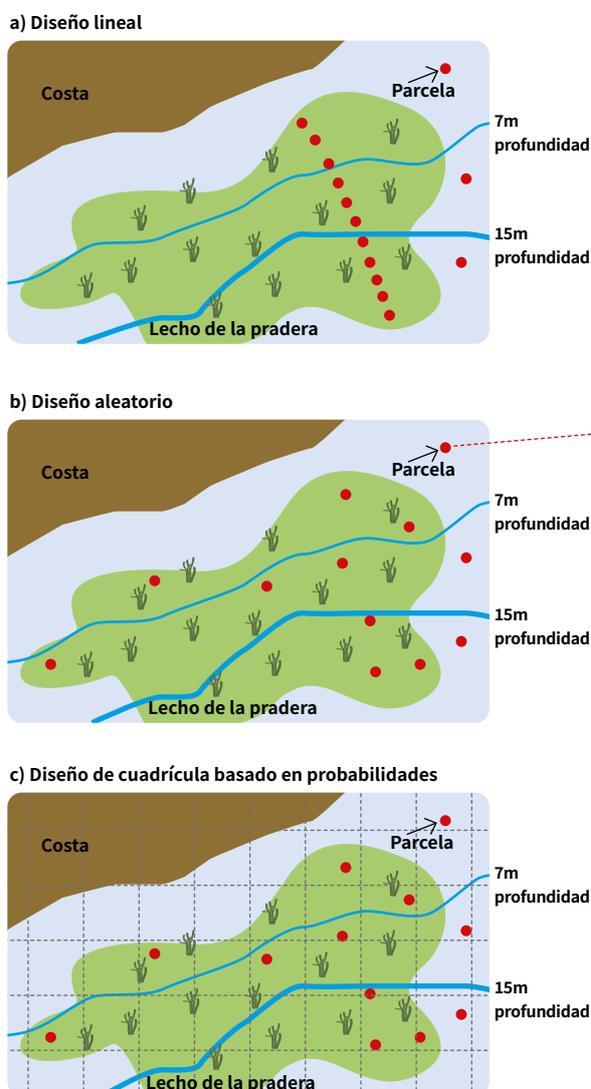
Si no se dispone de estimaciones de la variabilidad de las reservas de carbono, el número de muestras se determina en función de los recursos disponibles, con al menos una parcela en cada estrato y en cada ubicación. La figura 22 muestra un ejemplo de parcela circular. Según directrices obtenidas de estimaciones realizadas en Australia, fueron suficientes 40 núcleos para captar la variabilidad regional por toda una superficie del tamaño del país; sin embargo, puede ser necesario aumentar el número de muestras a escalas más precisas, p. ej., al examinar gradientes de carbono azul [77]. Un mayor número de parcelas de menor tamaño puede contribuir a captar la variabilidad en el seno de un estrato con más precisión que una única parcela de gran tamaño.

### Ubicación

A continuación, se indican algunos tipos habituales de distribución de parcelas:

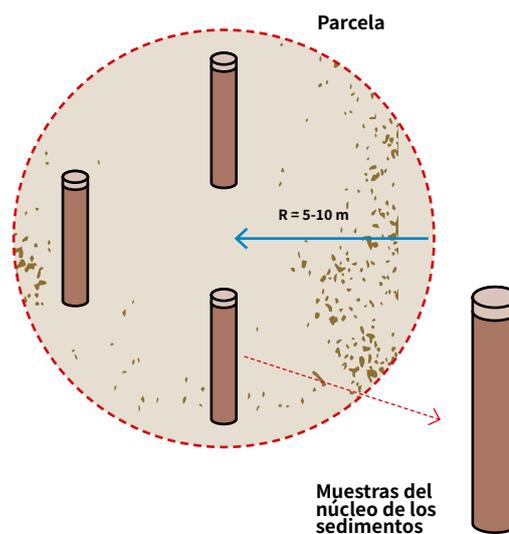
- a) **Lineal:** se suele usar especialmente para medir el efecto de una variable en los reservorios de carbono; parte de la premisa de que los estratos utilizados representan el gradiente de dicha variante (fig. 22a).
- b) **Aleatorio:** las parcelas se escogen de forma aleatoria para cada estrato, sin indicios previos de las reservas de carbono presentes en cada uno, para que la variabilidad en el seno de cada estrato quede representada en las muestras (fig. 22b).
- c) **Método de cuadrícula basado en probabilidades:** se sobrepone una cuadrícula en el mapa, en ocasiones alineada con los estratos, y solo se muestrea un único punto en cada celda, asegurándose de que el muestreo quede bien repartido por la zona examinada (fig. 22c).

Se recomienda encarecidamente el uso de los métodos de muestreo aleatorio o basado en probabilidades, a menos que estén restringidos los recursos o el acceso. Las diferencias notables en las reservas de carbono entre distintas parcelas de un estrato indican que la asignación de estratos no se realizó correctamente. Aumentar los esfuerzos de muestreo puede contribuir a potenciar la precisión de las estimaciones; otra opción es aceptar la pérdida de precisión e informar de la variabilidad en el seno de cada estrato. Si el objetivo del proyecto consiste en estimar cuánto carbono se ha capturado o acumulado en el pasado en un ecosistema de carbono azul, pero no se dispone de información acerca de la cantidad previa de carbono, es preciso también muestrear una zona de control. La zona de control debe ser un área cercana con condiciones medioambientales lo más similares posible en la que se ha de determinar cuánto carbono se captura o se acumula. De este modo, es posible estimar cuánto carbono hay acumulado en el ecosistema del proyecto gracias a la presencia de las praderas marinas o las marismas costeras: la diferencia entre el carbono acumulado en la zona de estudio del proyecto y el carbono acumulado en la zona de control aporta una indicación posible del carbono acumulado como consecuencia de la implementación y la viabilidad del proyecto.



**Figura 22:** Ejemplos de estrategias de ubicación de parcelas en una pradera marina; (a) método lineal, (b) método aleatorio, y (c) método de cuadrícula basado en probabilidades (Howard et al., 2014 [65] [modificado]). Las parcelas situadas fuera de la pradera son parcelas de control. Se utilizarían las mismas estrategias de muestreo para una marisma salada.

Ejemplo de una parcela con los distintos puntos aleatorios de muestreo.



## Etapa 5: Frecuencia de muestreo para parcelas permanentes

La frecuencia de muestreo dependerá de los objetivos del proyecto, de la velocidad esperada de modificación del parámetro estimado y del reservorio de carbono objeto de estudio [71]. Los cambios en las reservas subterráneas son más lentos que en la biomasa superficial, que varía a lo largo del año; se recomienda realizar el muestreo durante el período de máxima cantidad de biomasa [78]. De este modo, es posible estimar cuánto carbono hay acumulado en el ecosistema del proyecto debido a la presencia de la pradera o de la marisma costera. La diferencia entre el carbono acumulado en la zona de estudio del proyecto

y el carbono acumulado en la zona de control equivale al carbono acumulado como consecuencia de la aplicación del sistema.

Un período quinquenal de muestreo es habitual para las reservas totales de carbono. Los intervalos de muestreo de entre 10 y 20 son también habituales, pero pueden pasar por alto cambios en las reservas o en la tasa de captura debidos al estrés natural o antropogénico. La frecuencia del período de muestreo debe cumplir con las directrices del estándar escogido para la participación en los mercados de carbono.

## CAPÍTULO 6:

# MUESTREO SOBRE EL TERRENO PARA DETERMINAR RESERVAS Y FLUJOS DE CARBONO EN LOS SUELOS





## MUESTREO SOBRE EL TERRENO PARA DETERMINAR RESERVAS Y FLUJOS DE CARBONO EN LOS SUELOS

Puesto que hasta el 99 % del carbono de praderas marinas y marismas costeras se almacena de forma subterránea como carbono orgánico [22, 23], el reservorio de carbono del suelo es el que reviste mayor importancia de cara a su valoración precisa. No obstante, la biomasa superficial viva puede proporcionar valiosas estimaciones de la salud del ecosistema y puede suponer un beneficio adicional para el proyecto [22]. Véase el Manual de carbono azul costero de Blue Carbon Initiative para más información acerca del muestreo y las estimaciones de la biomasa como reservorio de carbono [65].

Es preciso cuantificar tres variables para medir con precisión las reservas de carbono del suelo: 1) profundidad del suelo; 2) densidad aparente del suelo (volumen ocupado por un peso seco de sedimentos); y 3) concentración de carbono orgánico.

Además, es preciso estimar la tasa de acreción de sedimentos para medir las tasas de captura de carbono en el suelo.

### PROFUNDIDAD DEL SUELO

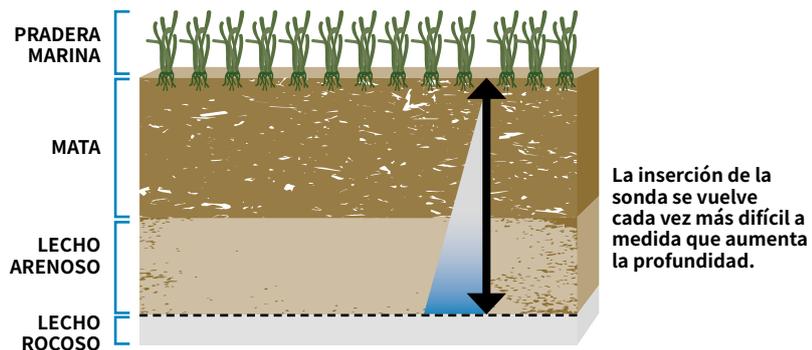
La profundidad del suelo se puede medir con una sonda de suelo o una vara metálica puntiaguda; este instrumento se introduce en el suelo hasta que no puede avanzar más (fig. 23). Este método estima la profundidad del lecho rocoso, la profundidad real del suelo, también denominada «profundidad de descarga»; no obstante, puede dar lugar a lecturas erróneas debidas a un cambio en la densidad del suelo o en caso de que el avance de la sonda quede bloqueado por rizomas de plantas. Por tanto, es importante obtener una estimación sólida de la profundidad del suelo realizando un muestreo de tres o más ubicaciones en torno a cada núcleo; si se registra una profundidad de descarga, es preciso extraer núcleos de suelo como mínimo a esa profundidad, a fin de confirmar que la profundidad del suelo se corresponde, en efecto, con la de descarga.

En algunos suelos de praderas marinas, especialmente en el caso de *P. oceanica*, la mata fibrosa de gran profundidad y las arenas subyacentes pueden

evitar una medición precisa de la profundidad con una sonda. En estos ecosistemas de praderas marinas no se suele medir la profundidad; en algunos casos, se utilizan otros métodos para valorar la profundidad del reservorio de carbono subterráneo, como nucleadores mecánicos o técnicas geofísicas [80].

Puede darse el caso de que la medición de la profundidad del suelo no sea logísticamente posible. Para evitar la necesidad de medir este parámetro, puede adoptarse una profundidad estándar: IPCC, por ejemplo, recomienda un valor de 1 m. Si los recursos son escasos o no pueden extraerse núcleos a 1 m, es posible realizar mediciones de carbono a partir de núcleos más cortos (entre 0 y 30 cm) y extrapolar los resultados a 1 m, siempre que se hayan extraído como mínimo siete núcleos a 1 m y se hayan utilizado para el desarrollo de ecuaciones log-lineales (log densidad de C orgánico en el suelo  $[g] = P [d] + I$ , donde P = pendiente e I = intercepción) diseñadas para predecir la densidad de carbono orgánico del suelo hasta 1 m de profundidad [77].

**Figura 23:** Medición de la profundidad del suelo con una sonda o una vara (Howard *et al.*, 2014 [modificado]) [65].



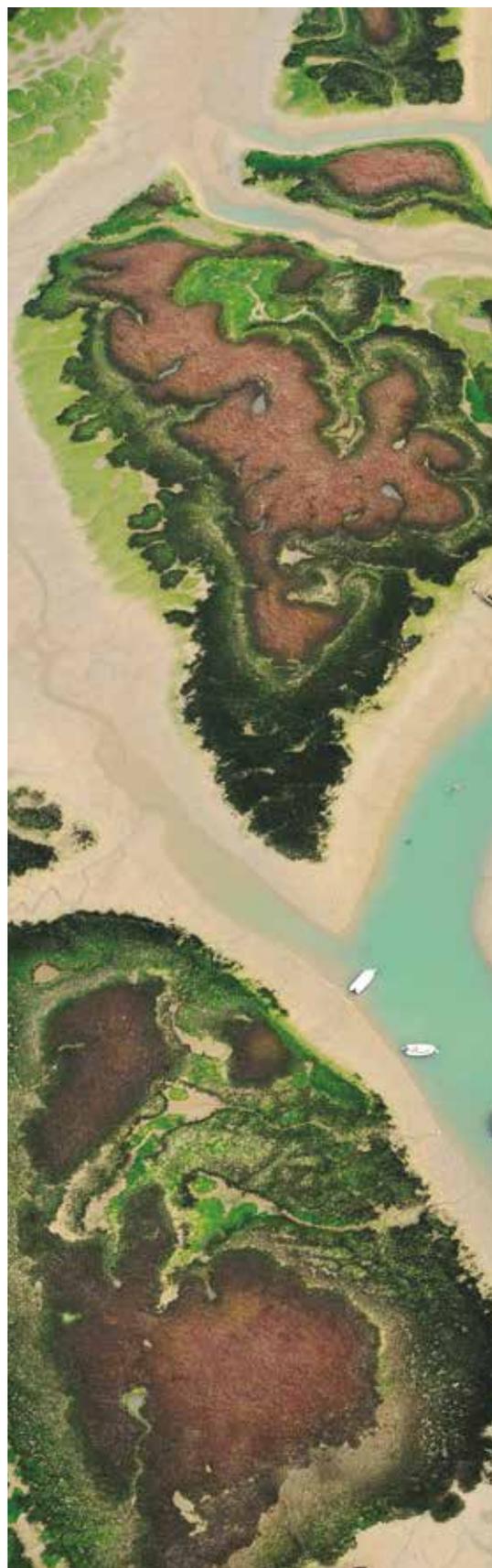
## Técnicas de teledetección

En la última década se han desarrollado técnicas no destructivas aplicables en diversas etapas de los procesos de estimación de reservas de carbono azul, que contribuyen a disminuir los costes y a reducir el impacto negativo del proyecto sobre el ecosistema [81, 82].

**Cartografía:** En los últimos años, se está implementando con éxito el uso de drones y software LiDAR, que permiten obtener mapas de alta precisión a costes muy bajos. Se pueden utilizar diversas técnicas de teledetección para evaluar la distribución de un ecosistema. La técnica de teledetección más empleada para cartografiar praderas marinas es la generación de imágenes multispectrales, que procesan imágenes de satélite para conocer las especies dominantes y el porcentaje de cobertura de una zona en concreto. La calidad de los mapas generados mediante esta técnica ha mejorado con el desarrollo de nuevas técnicas de procesamiento de imágenes [81]. Un método común para cartografiar marismas saladas son los mapas de elevación, que combinan datos de elevación del terreno con las amplitudes de las mareas para obtener la distribución potencial de una marisma salada [82]. La distribución potencial se puede cotejar con imágenes de satélite para obtener la distribución final del ecosistema. Este enfoque resulta especialmente interesante porque permite estructurar las marismas en divisiones altas, medias y bajas, que suelen corresponderse con estratos en proyectos de carbono azul para marismas saladas.

**Seguimiento:** Las imágenes de satélite o infrarrojas por teledetección pueden utilizarse para realizar el seguimiento de la cobertura del terreno o los cambios en la cobertura de las praderas marinas. Las variaciones en las comunidades vegetales pueden modificaciones en las condiciones del ecosistema o apuntar a una respuesta ecosistémica a las actividades antrópicas.

**Estimaciones de carbono en el suelo:** La tecnología sísmica de reflexión de alta resolución y los modelos morfobatimétricos del fondo marino han superado pruebas con resultados prometedores de cara a la estimación de las reservas de carbono de los suelos bajo praderas marinas [80]. Se extraen núcleos de suelo de la pradera objeto de estudio para estimar la densidad de carbono en el suelo y para calibrar los datos de velocidad del sonido obtenidos mediante la sísmica de reflexión de alta resolución; todo ello permite estimar el volumen total del suelo en la zona de la pradera, así como el espesor del mismo. Se pueden calcular las reservas de carbono en el suelo de la pradera multiplicando el volumen calculado por la densidad media de carbono.



## DENSIDAD DEL SUELO Y CONTENIDO DE CARBONO

La determinación de la densidad aparente del suelo y el contenido de carbono requiere la extracción de muestras de perfil del suelo relativamente inalteradas. El método más sencillo consiste en introducir o percutir en la capa de sedimentos un tubo que, posteriormente, se cubre y se extrae, creando vacío en el interior para retener la muestra del suelo. La extracción manual de núcleos es el método más empleado en las praderas marinas; sin embargo, no está recomendado para marismas costeras.

La extracción manual de núcleos causa fenómenos de compresión, y los modelos de corrección matemática de la compresión empleados no pueden distribuirla correctamente entre las muestras de suelo cuya densidad cambia drásticamente en función de la profundidad, como suele ocurrir en el caso de las marismas costeras; por tanto, para estos ecosistemas se recomienda el uso de métodos sin compactación, como los nucleadores rusos o de pistón [65].

Formación de capacidades para la extracción manual de núcleos en una marisma salada. Proyecto Life Blue Natura, UICN/CSIC (2019).



## 6.1. Extracción manual de núcleos

La extracción manual de núcleos presenta ciertas ventajas: bajo coste, alto nivel de portabilidad y la posibilidad de llevarla a cabo de forma autónoma. Sus principales desventajas radican en que causa compresión y en que la profundidad de inserción del núcleo está limitada y vinculada a la fuerza del operario.

El nucleador suele constar de un tubo de PVC que, normalmente, presenta un diámetro interno de entre 5 y 7 cm, una pared de 0,5 cm de grosor y una longitud de hasta 1,5 m. Su borde de avance está afilado para poder abrirse paso por materiales fibrosos. Cuando se trabaja con suelos arenosos, es posible equipar un dispositivo de recuperación de núcleos en la parte inferior del nucleador para reducir la pérdida de sedimentos durante la extracción. Existen plantillas para confeccionar estos dispositivos de recuperación de forma autónoma<sup>27</sup>, pero también se pueden adquirir ya fabricados de plástico (fig. 24a). No obstante, es preciso destacar que, durante la extracción, se pierde todo el suelo (unos 10-15 cm) que queda por debajo del dispositivo de recuperación de núcleos [83]. El nucleador se puede tapar y clavar en el suelo. Es posible taladrar dos orificios en la parte superior del nucleador para poder introducir una vara de aluminio que permita girar la herramienta a medida que penetra en el suelo (fig. 24). El nucleador puede también presentar puertos previamente perforados (y sellados con cinta aislante) en toda su longitud para poder extraer muestras sobre el terreno del núcleo obtenido (véase más abajo).

### Equipamiento necesario

- 1 tapa perforada de metal revestida con cinta de teflón para proteger la parte superior del nucleador durante la percusión.
- 2 tapones de goma o tapas de PVC para sellar el nucleador.
- 2 esponjas rígidas o de espuma floral para ocupar el espacio entre los tapones y el núcleo de sedimentos.
- Cinta adhesiva impermeable para sellar los extremos del nucleador.
- 1 mazo de mango largo.
- 1 regla plegable de plástico para medir la compresión del núcleo y la penetración del nucleador.
- 1 cuchillo (o tijeras) para retirar la biomasa superficial antes de proceder a la extracción.
- 1 sierra de dientes finos para cortar la parte superior del nucleador (véase más abajo).
- 1 libreta o cuaderno impermeabilizado para registrar los datos (p. ej., la profundidad del suelo dentro y fuera del nucleador).
- 2 rotuladores permanentes.
- Jeringas para obtener submuestras de sedimentos en caso de utilizar un nucleador previamente perforado (véase la fig. 27).
- 2 cuerdas (3 m de largo, 1,5 cm de diámetro), para elevar el núcleo.
- Receptor GPS, mapas, equipo de buceo.

Figura 24: Nucleador de PVC para suelos de praderas marinas y marismas saladas.

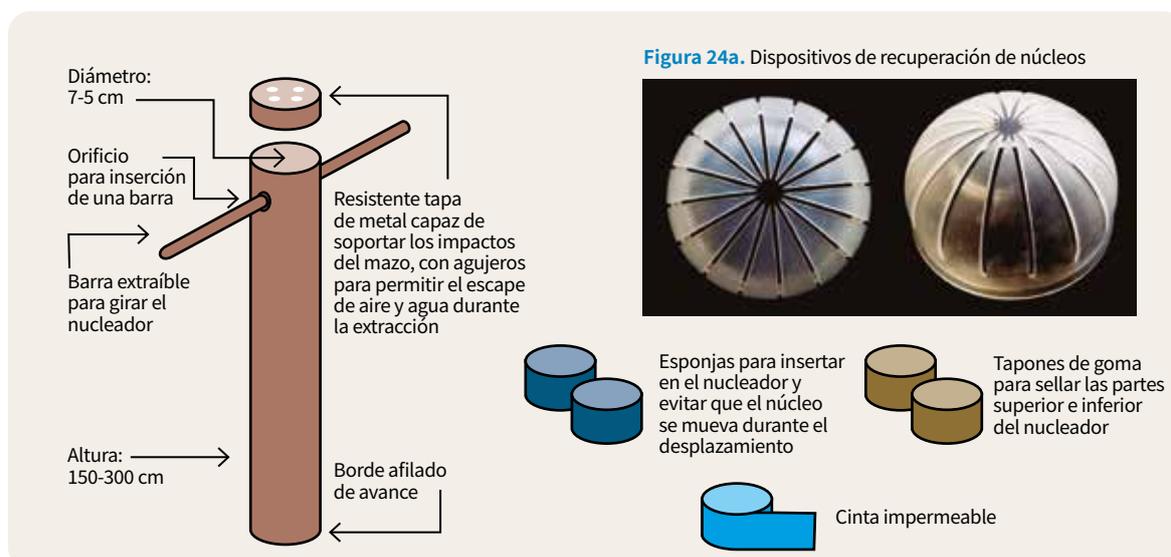


Figura 24a. Dispositivos de recuperación de núcleos

<sup>27</sup> <http://esslab.tamucc.edu/resources/corecatchertemplate.pdf>

### Procedimiento de extracción de muestras

Es recomendable seguir el siguiente procedimiento y sus etapas para preparar y extraer los nucleadores a fin de obtener muestras del suelo (adaptación del proyecto LIFE Blue Natura [22, 71]):

#### Paso 1

Selección del lugar de trabajo y registro en hoja de datos de la ubicación, el nombre de la estación, la etiqueta del núcleo, la longitud del núcleo y los datos medioambientales (fig. 27a). Si se considera factible y apropiado, debe medirse la profundidad con la sonda para suelos.

#### Paso 2

Se debe elegir un espacio intersticial entre brotes. De no ser así, se deberá eliminar la biomasa superficial de la ubicación seleccionada. El nucleador se sujeta verticalmente, con el borde de avance contra el suelo. Se inserta la vara en los orificios de la parte de arriba para hacer girar el núcleo y se coloca una tapa metálica en el extremo superior del nucleador. Entonces, se introduce el nucleador con sumo cuidado en el suelo con ayuda de un mazo; es preciso rotarlo 180° cada dos golpes para reducir la compresión del núcleo y cortar raíces o rizomas fibrosos.

#### Paso 3

Una vez que el nucleador ha alcanzado la profundidad necesaria, deben quedar expuestos 10 cm de su longitud para poder atar las cuerdas. La altura del nuclea-

dor por encima del nivel del suelo debe medirse por la parte exterior para calcular la penetración del instrumento y por la parte interior para estimar la compactación del núcleo (fig. 25).

La densidad aparente de los sedimentos aumenta con la profundidad; por ello, también la compresión puede variar según este parámetro. Si son necesarias medidas de mayor precisión, es posible tomar varias veces las medidas en la parte exterior y la parte interior del nucleador a medida que va penetrando en el suelo. Si se produce un «efecto de clavo» por la acción de un rizoma o un obstáculo rocoso y hay muy poca cantidad de suelo en el interior del nucleador, o en caso de que no sea posible introducir el instrumento a la profundidad requerida, se deberá obtener otro núcleo en una ubicación cercana.

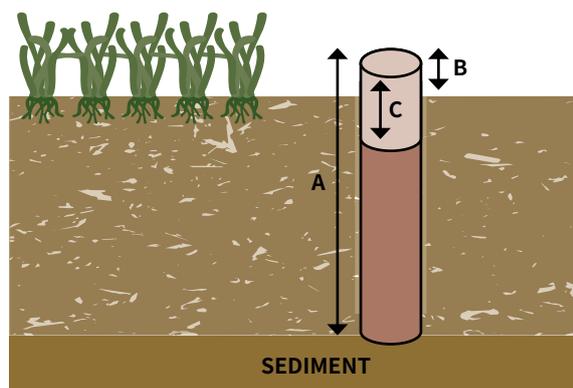
#### Paso 4

Este paso requiere la extracción de la vara de rotación del nucleador (fig. 24). A continuación, se debe insertar un tapón o una tapa de PVC en la parte superior del nucleador y sellarla con cinta adhesiva impermeable, incluyendo los orificios para la vara de rotación. De este modo, se impide la pérdida de sedimentos al levantar el nucleador.

#### Paso 5

Antes de levantar el nucleador, se recomienda

**Figura 25:** Medidas necesarias para estimar la compresión del núcleo (modificado de Howard *et al.*, 2014).



- A** longitud total de tubo
- B** longitud del tubo fuera del sedimento
- C** longitud del tubo interior

insertar un tubo de metal de 1,5 m (de unos 15 mm de diámetro) con un perno de carro equipado sin apretar en el extremo de avance. El tubo se clava de forma paralela al nucleador de PVC hasta que se encuentre al nivel de la parte inferior del núcleo. Entonces, se saca el tubo unos centímetros para que se suelte el perno de carro; este se queda en el suelo y permite que el agua presente en la parte inferior del núcleo pueda romper la bolsa de agua/aire. De este modo, resulta más sencillo extraer el nucleador [83].

#### Paso 6

Atar cada cuerda en el nucleador por la parte central con un nudo de ballestrinque, de forma que queden cuatro extremos de cuerda sueltos. En este momento, los miembros del equipo, en posición de genuflexión, deben tensar la cuerda y elevar el núcleo tirando de él hacia arriba. Puede que sea necesario repetir el proceso desplazando los nudos hacia abajo por el nucleador hasta que su parte inferior se encuentre cerca de la superficie de los sedimentos.

#### Paso 7

Inmediatamente después de extraer el nucleador, debe taparse y sellarse con cinta por su parte inferior.

#### Paso 8

A continuación, se puede volver a abrir la parte superior del nucleador y medir la distancia desde la parte superior del material extraído hasta el borde del instrumento, a fin de determinar si se ha perdido materia durante la extracción; si las pérdidas son considerables, podría ser necesario volver a extraer el núcleo, lo que ocurre con relativa frecuencia en este proceso. Si no se ha perdido materia o se trata de pérdidas mínimas, se puede cortar el nucleador a una altura de 2-4 cm por encima del nivel de sedimentos; al realizar el corte, es preciso insertar espuma o una esponja para llenar el hueco resultante antes de volver a insertar y sellar el tapón o la tapa. De este modo, se estabiliza el núcleo y se evita el movimiento de los materiales en el interior del tubo de PVC.

**Importante:** se deben marcar las partes superior e inferior del núcleo, ya que no siempre se distinguen claramente en el laboratorio.

Extracción de un núcleo en una pradera marina de Andalucía. CSIC-Life Blue Natura.



## Tratamiento de núcleos

Los núcleos deben refrigerarse a una temperatura de 4 °C y mantenerse a resguardo de la luz antes de su tratamiento. Es posible congelarlos una vez y descongelarlos para proceder al tratamiento, pero se debe evitar volver a congelarlos posteriormente.

### Submuestreo del núcleo

La decisión relativa a cómo llevar a cabo el muestreo del núcleo depende, una vez más, de los recursos disponibles; sin embargo, se suele poner más esfuerzo en la parte superior (20-50 cm), ya que es ahí donde se producen las mayores variaciones de carbono. A pesar de ello, no hay un intervalo fijo de muestreo. Se ha propuesto la toma de muestras cada 5 cm en los primeros 50 cm de altura y ampliar los intervalos pasada esa marca [79]. El submuestreo se realiza para determinar la variación de carbono en el suelo en función de la profundidad. Sin embargo, si el proyecto de carbono azul no tiene entre tus objetivos la estimación de los cambios en los niveles de captura de carbono a lo largo del tiempo, es posible tratar el núcleo entero como una única muestra homogeneizada y medida, lo que contribuye a ahorrar dinero que puede invertirse en obtener más ejemplares de núcleos del terreno. De este modo, se puede mejorar la precisión de estimación de la heterogeneidad espacial de nuestro ecosistema.

**Es importante que todos los núcleos alcancen la misma profundidad si se desea seguir el método de muestra única.** Dado que los núcleos pueden presentar diversas profundidades, es posible cortarlos todos para que tengan una similar. Si los núcleos están comprimidos, **debe tenerse en cuenta la compresión** antes de descargar el material de cada núcleo. Si va a seguirse el método de submuestreo del núcleo, es posible llevarlo a cabo tanto en el laboratorio como sobre el terreno (fig. 26). En este segundo caso, el submuestreo se realiza a través de puertos previamente

perforados en el nucleador que, durante la extracción del núcleo, se mantienen cerrados y sellados (fig. 27); una vez extraído el nucleador y colocado en posición vertical, la cinta se retira para revelar los puertos de uno en uno, empezando por el de la parte superior del núcleo. Entonces, se introduce en la muestra una jeringa del mismo diámetro que el puerto con el extremo recortado, y se va tirando del émbolo a medida que se avanza (fig. 27). Una vez extraída la jeringa, se vuelve a introducir el émbolo ligeramente para poder retirar la muestra saliente con un corte plano, alineado con la abertura de la jeringa. El volumen de la muestra puede leerse directamente en la escala de la jeringa (en mililitros).

Las muestras obtenidas por medio de este método se colocan en recipientes tarados y etiquetados. También debe registrarse el volumen de sedimentos ( $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ cc} = 1 \text{ ml}$ ). Como buena práctica para el registro de las variables, se recomienda disponer de una hoja de datos con los siguientes encabezados de columna: id. de la estación, número de núcleo, profundidad del núcleo, profundidad de la submuestra, volumen de la submuestra, número y peso del recipiente y peso húmedo de la submuestra.

Figura 26: Submuestras de núcleos para análisis de carbono.



En el laboratorio, el submuestreo se realiza colocando los núcleos horizontalmente y cortando el PVC en dos mitades iguales con ayuda de una sierra circular o una cizalla eléctrica. Se utiliza una guía de madera o de metal para asegurarse de que la hoja solo penetre en la carcasa de PVC (y no en el núcleo) y realice un corte en línea recta por cada lado del nucleador de PVC. A continuación, puede utilizarse un cuchillo afilado u oscilante para cortar las uniones entre las dos mitades del nucleador de PVC para así formar dos mitades, que se denominan «divisiones» o «heminúcleos».

Una de las divisiones debe dividirse en intervalos de muestreo, con la realización de un registro fotográfico de las divisiones; la otra puede almacenarse congelada a efectos de referencia o análisis futuro.

En la primera división, se sigue el proceso siguiente:

- 1) Se coloca una regla a lo largo de toda la longitud del núcleo. Se recomienda fotografiar el núcleo con su etiqueta y la cinta métrica.
- 2) Si se van a extraer submuestras, deberán marcarse los intervalos de muestreo en la superficie de la división con ayuda de un cuchillo afilado (fig. 28). Si se va a tratar el núcleo entero como una única muestra, el operario deberá asegurarse de que se haya recortado a la profundidad apropiada (en caso necesario) y de recuperar todo el material para su homogeneización.

**Figura 27:** Submuestreo con una jeringa recortada de 3 cm de diámetro y 25 ml



**Figura 27a:** Ejemplo de hoja de datos para núcleos

Fecha	Id. estación/ núcleo	Profundidad de la sonda de suelo (cm)	Exterior (cm)	Interior (cm)	Profundidad del agua	Comenta- rios
			↓	↓		

**Figura 28:** Intervalo de submuestreo de 2 cm marcado en la superficie de la división.



## 6.2. Medición de la tasa de acreción de sedimentos

La tasa de acreción de sedimentos, necesaria para deducir las tasas de captura de carbono en el suelo, puede estimarse a partir de los mismos núcleos utilizados para medir la densidad aparente y el contenido de carbono; para ello, es preciso datar el material del núcleo en cuestión, por ejemplo, mediante métodos de datación con  $^{210}\text{Pb}$  o  $^{14}\text{C}$  [22, 32]. Esta ser la única opción en caso de que el proyecto deba estimar tasas anteriores de acreción en una zona de la que no se dispone información previa. Sin embargo, estas metodologías de datación de sedimentos suelen ser costosas.

Alternativamente, se ha utilizado con éxito el método de horizonte de referencia con tablas de elevación de la superficie para medir la elevación y las tasas de acreción de humedales mareales [84]. Los horizontes de referencia miden la acreción vertical de sedimentos por medio de una gruesa capa de referencia (p. ej., arcilla blanca de feldespato) que se coloca sobre la superficie de los sedimentos. Posteriormente se extraen núcleos de suelo para medir la cantidad de sedimentos acumulados por encima de la referencia. La distancia de la referencia a la superficie del suelo en el núcleo se corresponde con la elevación del suelo. Al emplear esta metodología, debe considerarse el

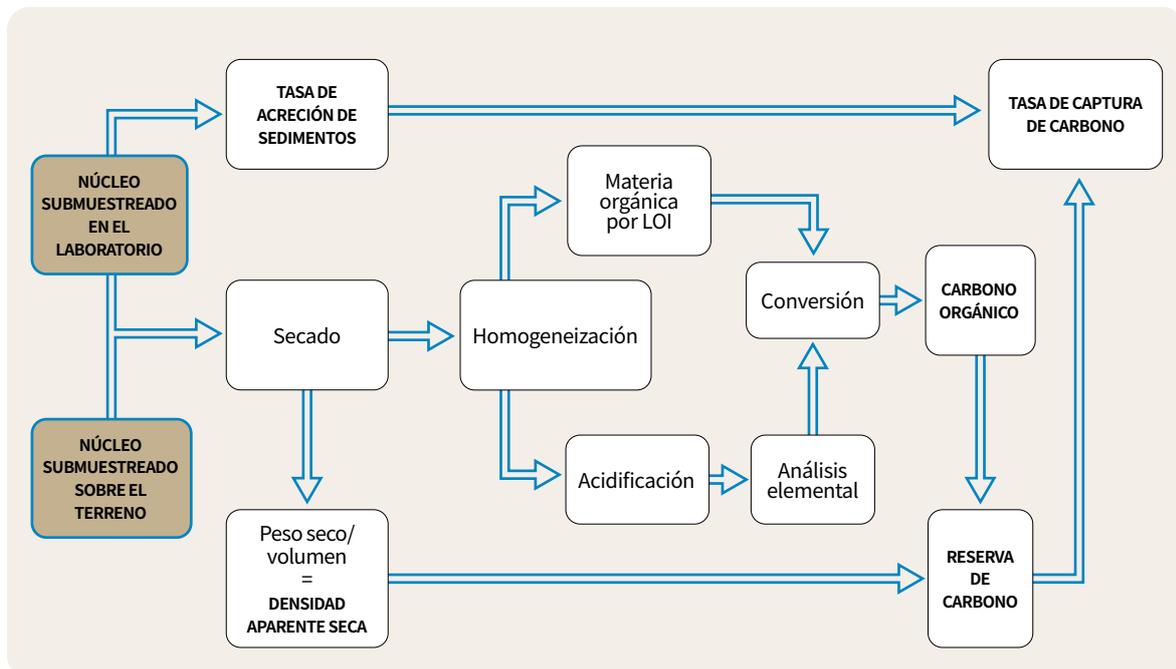
uso de ajustes basados en un factor de corrección si el método de extracción propicia la compresión del núcleo. Las tablas de erosión de sedimentos sobre el terreno ofrecen una referencia constante para la medición de la altura relativa del suelo a lo largo del tiempo [85].

### Análisis en el laboratorio

No parece haber un método estándar de análisis en el laboratorio de muestras de suelo; sin embargo, el diagrama de la fig. 29 resume las metodologías existentes que pueden emplearse, a modo de guía, para la estimación de las tasas de secuestro y las reservas de carbono a partir de los trabajos sobre el terreno.

La densidad aparente seca se estima a partir de la submuestra completa (es decir, de una sección del núcleo o de una submuestra extraída con una jeringa). Se pueden realizar otros análisis a partir de fracciones de la muestra homogeneizada, una vez que esté seca. La densidad aparente seca y el contenido de carbono orgánico se utilizan para determinar la densidad de carbono del suelo.

Figura 29: Diagrama de flujo para la estimación de las tasas de acumulación y las reservas de carbono.



### Determinación del volumen de la submuestra

El volumen de una sección de una de las divisiones del núcleo puede calcularse mediante la siguiente fórmula de regresión lineal [79]:

**Volumen (cm<sup>3</sup>) =**  
 $0.5 \times \text{profundidad de la sección} \times (\pi \times \text{radio del núcleo}^2 \text{ [cm]})$

### Factor de corrección de compactación del núcleo

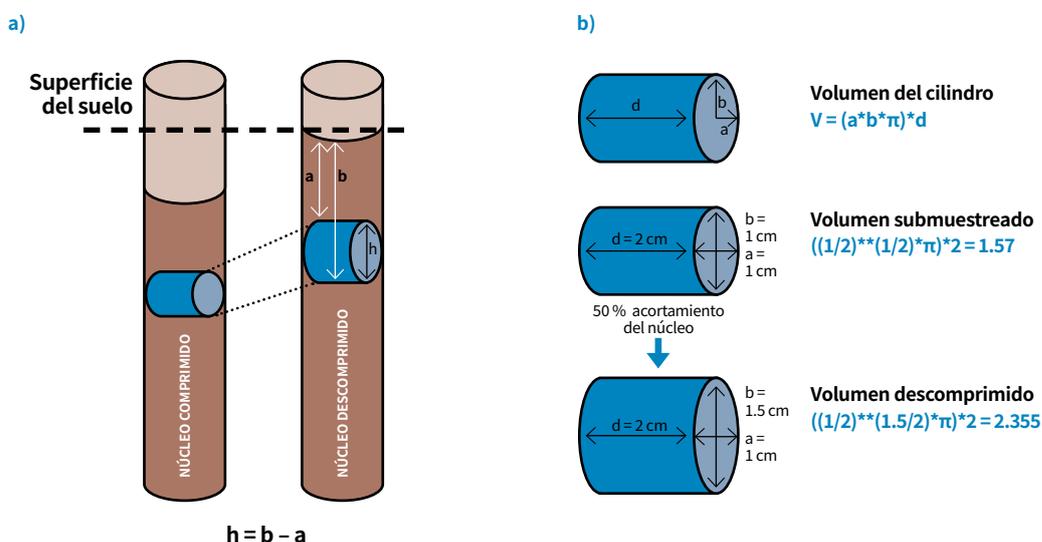
Como se indicó anteriormente, en este punto es importante considerar si es necesario corregir la profundidad de la sección por la compactación del núcleo. Por ejemplo, si el nucleador tenía una profundidad de 100 cm y el núcleo de 80 cm, la profundidad de una sección de 2 cm debe corregirse a razón de 80/100; de este modo, la profundidad de la sección original (antes de sufrir la compactación) quedaría estimada en

$2/(80/100) = 2,5$  cm. Otros manuales y protocolos recomiendan el uso de tasas de compactación logarítmicas o exponenciales [22, 86], puesto que los sedimentos de la superficie suelen ser menos densos y se comprimen más al extraer los núcleos.

### Factor de corrección de compactación de la submuestra

En el caso de las submuestras extraídas con jeringa, el volumen de la submuestra tomada puede leerse directamente en la propia jeringa (en ml): 1 ml = 1 cm<sup>3</sup>. No obstante, si se ha comprimido el núcleo, debe recalcularse el volumen de la jeringa. El material del interior del núcleo se comprime verticalmente, no horizontalmente; por tanto, tras la corrección matemática de la compactación, la sección transversal de la submuestra de la jeringa ya no será circular, sino elíptica. Como en cualquier otro núcleo comprimido, es posible corregir la profundidad descomprimida de las partes superior e inferior de la sección elíptica (fig. 30a); posteriormente, el volumen se calcula según la fórmula correspondiente a un cilindro de sección elíptica (fig. 30b).

Figura 30: Ejemplo de cálculo del volumen correcto de submuestras tomadas con jeringa de núcleos comprimidos.



### 6.3. Densidad aparente seca

Este término hace referencia a la densidad del sustrato, y se estima a partir del peso en seco de un volumen conocido de sustrato.

1. O bien se levanta intacto del núcleo el intervalo entero de muestra marcado, o se puede insertar una jeringa recortada en el centro de las submuestras y colocarse en un recipiente tarado y etiquetado. La muestra puede extenderse para facilitar el proceso de secado.
2. Las muestras se dejan secar en un horno a 60 °C hasta que se alcance un peso constante (las temperaturas altas pueden provocar la pérdida de materia orgánica por oxidación). Se recomienda un proceso de liofilización para las muestras con alto contenido en arcilla, que facilita su posterior disgregación. El peso final debe registrarse como el peso seco de la muestra.

**Peso seco de la muestra =**

**peso total de la muestra seca y el recipiente – peso del recipiente**

3. Al cabo de 24 horas, se retiran las muestras del horno y se colocan en un desecador para que terminen de secarse y se enfríen durante una hora antes de proceder a pesarlas. Este proceso se repite durante períodos adicionales de 24 horas hasta que la diferencia de peso sea inferior al 4 %. Si no se dispone de un desecador, es posible conservar las muestras en una sala cerrada con aire acondicionado para mantener la humedad por debajo del 50 % [68]. Por lo general, las muestras requieren entre 48 y 72 horas para alcanzar un peso seco estable [65]. El desecador previene la absorción de agua de la atmósfera y el consiguiente aumento del peso. Se debe anotar el peso seco y usarlo para calcular la densidad aparente seca con arreglo a la fórmula siguiente:

**Densidad aparente seca (g cm<sup>-3</sup>) =**

**peso seco (g) / volumen de la muestra (cm<sup>3</sup>)**

98

Muestras secándose en un desecador.



#### Equipamiento necesario

- Báscula con dos o tres cifras decimales; p. ej., para 1 g, precisión al 10 % = 0,1 g, precisión al 1 % = 0,01 g, precisión al 0,1 % = 0,001 g
- Crisoles de tamaño apropiado para las muestras, numerados y tarados
- Desecador con gel de sílice púrpura; si es blanco, meterlo en el horno durante seis horas a 105 °C para secarlo (fig. 14)
- Horno de secado a 60 °C

## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

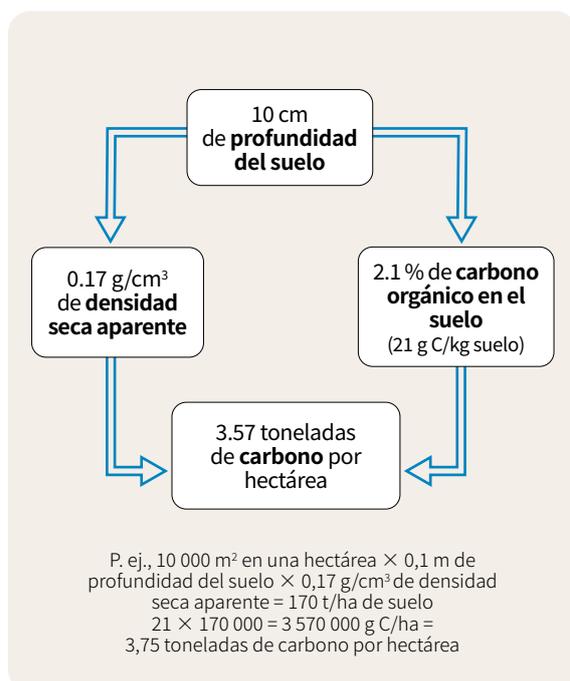
El contenido de carbono orgánico es la proporción de carbono orgánico en relación con la masa seca de suelo (fig.31). Hay dos métodos principales para medirlo:

- utilizar un analizador elemental automatizado; y
- utilizar un horno mufla para determinar las pérdidas por ignición (LOI, por sus siglas en inglés). Este proceso implica la estimación de las pérdidas de peso producidas durante la combustión de materia orgánica en una muestra calentada y el uso de relaciones empíricas entre el carbono y la materia orgánicos.

Existe una tercera modalidad que emplea técnicas de digestión húmeda como el método de Walkley-Black; sin embargo, no se utiliza con frecuencia al no considerarse cuantitativa y porque genera residuos tóxicos [65].

La determinación del contenido de carbono orgánico por medio de un analizador automático ofrece estimaciones más precisas, pero resulta relativamente más costosa; por su parte, el método de LOI es más económico y ofrece una estimación de la materia orgánica total que ha de integrar el contenido de carbono orgánico.

**Figura 31:** Ejemplo de cálculo de la cantidad de carbono orgánico del suelo por hectárea a una profundidad determinada.



### Equipo y material necesario:

- Guantes termorresistentes
- Secador
- Horno mufla capaz de alcanzar  $500\text{ }^\circ\text{C}$
- Pinzas
- Báscula con dos o tres cifras decimales
- Crisoles de tamaño apropiado para las muestras, numerados y tarados
- Desecador

### Uso del método de pérdidas por ignición (LOI) para estimar el porcentaje de materia orgánica

A continuación, se describen las etapas necesarias para calcular la materia orgánica con la metodología LOI:

1. Se homogeneiza la muestra seca triturándola para obtener un polvo fino.
2. Se transfieren al menos 3 g de la muestra homogeneizada a un crisol y se secan a más de  $100\text{ }^\circ\text{C}$  durante al menos cinco horas para eliminar la humedad; posteriormente, se procede a pesar la muestra.
3. Después, se calienta a  $500\text{ }^\circ\text{C}$  durante al menos seis horas. Transcurrido este tiempo, debe enfriarse hasta los  $100\text{ }^\circ\text{C}$  aprox. antes de transferirla a un desecador para dejarla enfriar a una temperatura que permita manipular y pesar la muestra con seguridad.
4. La diferencia de peso antes y después de la combustión a  $500\text{ }^\circ\text{C}$ , expresada como porcentaje del peso seco original total de la muestra, es el porcentaje de material orgánico (% OM o % LOI).

% OM =

$\left[ \frac{\text{peso seco inicial de la muestra} - \text{peso de la muestra restante tras el calentamiento a } 500\text{ }^\circ\text{C}}{\text{peso seco inicial de la muestra}} \right] \times 100$

Este porcentaje representa la pérdida de materia orgánica de la muestra de suelo, que incluye carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, azufre, etc.; por tanto, es preciso discriminar la pérdida de carbono a partir de este valor. Puesto que el porcentaje de LOI y el carbono orgánico en marismas saladas y praderas marinas están íntimamente correlacionados, es posible estimar el contenido de carbono a partir del porcentaje de LOI con ayuda de una curva de calibración.

Deben enviarse algunas muestras (aprox. 10 %) para analizar y cuantificar su contenido de carbono por medio de un analizador elemental. Los resultados obtenidos indicarán la correlación entre los resultados de materia orgánica total obtenidos a partir del porcentaje de LOI y el contenido de carbono orgánico[5]. Se recomienda estimar un factor de conversión para cada estrato muestreado sobre el terreno.

Si no se dispone de datos de carbón orgánico procedentes de un analizador elemental, se puede emplear uno de los siguientes factores generales de conversión:

100

**$C_{org}$  en marismas costeras =**

$$0,40 \times \% LOI + 0,0008 (\% LOI)^2$$

**( $r^2 = 0,99$ ) [87]**

**$C_{org}$  en praderas marinas si  
% LOI < 0,2 % =**

$$0,40 \times \% LOI - 0,21$$

**( $r^2 = 0,87$ ) [38]**

**$C_{org}$  en praderas marinas si  
% LOI > 0,2 % =**

$$0,43 \times \% LOI - 0,33$$

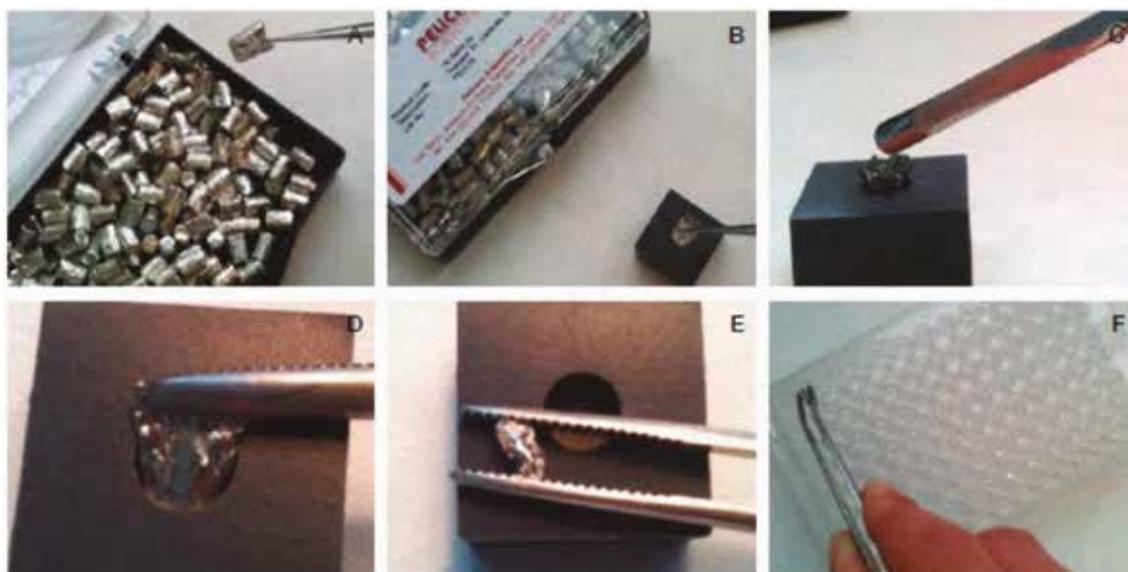
**( $r^2 = 0,96$ ) [38]**

### Preparación de muestras para análisis elemental de C

Es preciso acidificar las muestras homogeneizadas para análisis elemental a fin de eliminar el carbono inorgánico o el carbonato de calcio procedente de restos de rocas (calizas) u organismos calcáreos (como las conchas) que pueda estar presente.

A continuación, se indica cómo llevar a cabo el proceso de preacidificación:

1. Comprobar si las muestras contienen carbonatos; para ello, añadir 1 M de HCl a una submuestra de suelo y observar si se produce efervescencia: si hay carbonatos, continuar con el paso 2; en caso contrario, no es necesaria la acidificación.
2. Tomar 1 g de muestra y colocarla en un tubo tarado de vidrio para centrifugación; añadir 1 M de HCl hasta cubrir las muestras y agitar o someter a baño ultrasónico durante 15 minutos para deshacer los grumos de material. Dejarla reposar hasta que finalice la efervescencia. Añadir más HCl y agitar; si se sigue produciendo efervescencia, repetir los pasos anteriores.
3. Cuando ya no se produzca más efervescencia, significará que no quedan carbonatos; en ese momento, se debe dejar reposar la muestra para que se asiente o centrifugarla para eliminar la materia en suspensión antes de retirar el sobrenadante con una pipeta.
4. Después, es preciso enjuagar la muestra con agua destilada o Milli-Q, agitarla de nuevo, dejarla reposar (o centrifugarla) y retirar el sobrenadante.
5. Se debe repetir el paso 3 dos o tres veces, hasta que el sobrenadante tenga un pH 7 de acidez.
6. Las muestras se dejan reposar toda la noche a 60 °C.
7. Finalmente, se pesa la muestra en el tubo y se resta la tara del tubo para obtener el peso de la muestra descarbonatada.



**Figura 32:** Preparación de muestras para análisis elemental de CN. (A) Cápsula de estaño (se debe pesar); (B) una vez pesada, la cápsula se coloca en una superficie limpia; (C) se añade la muestra con una espátula; (D) se cierra la cápsula doblándola por la parte superior; (E) se comprime la cápsula; y (F) se coloca la muestra en la placa de 96 pocillos.

### Preparación de muestras para análisis elemental

1. Una parte de la muestra homogeneizada, descarbonatada y secada en el horno se coloca en una cápsula de estaño previamente tarada. La cantidad exacta se debe convenir con el operador del autoanalizador, y puede ser necesario agotar muestras preliminares para determinar el contenido de carbono de las muestras.
2. La parte superior de la cápsula de estaño que contiene la muestra se dobla dos veces y se comprime para evitar que haya puntas afiladas que se puedan quedar enganchadas en el autoanalizador.
3. Se vuelve a pesar la cápsula, se coloca en una placa de 96 pocillos y se introduce en un desecador (fig. 32).
4. Se anota el número del pocillo, el identificador de la muestra y el peso de esta (el peso total de la cápsula de estaño y la muestra menos el peso de la cápsula y el peso original de la muestra previo a la acidificación).
5. Las muestras ya están listas para su transferencia a un laboratorio especializado para llevar a cabo el análisis elemental.

### Equipamiento necesario

- 1 microbáscula
- Cápsulas prensadas de estaño (6 × 4 mm o 8 × 5 mm)
- Fórceps
- Espátula (resultan útiles las de cuchara curva)
- Bloque pretaladrado de PVC para sujetar la cápsula de estaño (con un orificio de 7 o 9 mm)
- Placa de 96 pocillos

## CAPÍTULO 7: CÁLCULO DE LAS EXISTENCIAS TOTALES DE CARBONO





## ESTIMACIÓN DE LAS EXISTENCIAS DE CARBONO

Las existencias totales de carbono del suelo en el área de un proyecto se determinan a partir de la cantidad de carbono presente en una zona concreta a una profundidad definida. Así, se obtendrán estimaciones de las reservas de carbono para el estudio de la línea de base en la zona del proyecto (véase la sección correspondiente a la cuantificación de emisiones de GEI en situación de proyecto). De acuerdo con los pasos que detalla el **Manual de carbono azul costero**, se necesita la información siguiente para calcular la cantidad total de carbono del suelo en el área de un proyecto:

- profundidad del suelo;
- profundidad e intervalo de submuestreo;
- densidad aparente seca; y
- porcentaje de carbono orgánico.

Para calcular las existencias totales de carbono de un área, es preciso seguir los siguientes pasos:

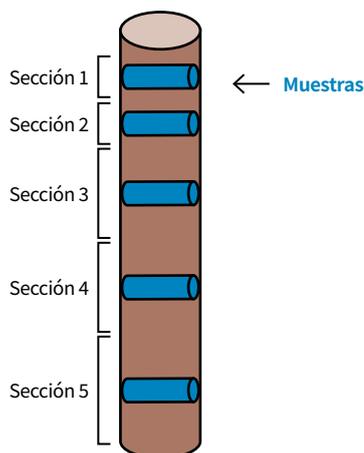
### Paso 1.

**Densidad de carbono del suelo:** se calcula para cada sección de los núcleos individuales con arreglo a la siguiente fórmula:

**densidad de carbono en el suelo =**

$$\text{densidad aparente seca con corrección de compresión (g cm}^{-3}\text{)} \times (\% C_{\text{org}}/100)$$

**Figura 33:** Distribución de secciones en un núcleo submuestreado con jeringa. Cada sección comienza y acaba en los respectivos puntos medios entre dos submuestras.



### Paso 2.

**Existencias de carbono orgánico del suelo** de cada sección en un núcleo de suelo: se estiman a partir de la densidad de carbono del suelo de cada muestra, que se multiplica por el grosor de esta (es decir, la longitud submuestreada de la división en el laboratorio). En el caso de las muestras extraídas de los núcleos con jeringas, el grosor de la primera sección se corresponde con la distancia entre la parte superior del núcleo y el punto medio entre la primera y la segunda submuestra; el grosor de la segunda sección se corresponde con la distancia del punto medio entre la primera y la segunda submuestra extraída con jeringa al punto medio entre la segunda y la tercera, y así sucesivamente (véase la figura 33).

**reservas de carbono orgánico del suelo en la sección del núcleo (g C<sub>org</sub> cm<sup>-2</sup>) =**

$$\text{densidad de carbono orgánico del suelo (g C cm}^{-3}\text{)} \times \text{grosor de la sección del núcleo con corrección de compresión (cm)}$$

### Paso 3.

**Existencias de carbono en cada núcleo.** Es preciso repetir el paso 2 para cada sección de núcleo y sumar los valores. Si el núcleo no alcanza la profundidad necesaria (normalmente de 1 m), se ampliará la densidad de carbono a tal valor por extrapolación de la profundidad con valores linealmente integrados de existencias acumulativas de carbono orgánico [77]. **Este proceso no es compatible con el método de muestra única** (véase el capítulo relativo al tratamiento de núcleos de suelo).

**existencias de carbono en el núcleo (g cm<sup>-2</sup>) =**

$$EC_{\text{sección 1}} + EC_{\text{sección 2}} + \dots$$

### Paso 4.

**Convertir las existencias de carbono del núcleo** a las unidades que se utilizan en la literatura (si es necesario), p. ej., t ha<sup>-1</sup> o Mg ha<sup>-1</sup>

**existencias de carbono en cada núcleo (t ha<sup>-1</sup>) =**

$$\text{existencias de carbono en el núcleo (g cm}^{-2}\text{)} \times 10$$



Mata de Posidonia oceanica

**Paso 5.**  
**Calcular la media y la desviación estándar de las existencias de carbono para cada estrato**

▶ **media de existencias de C (t ha<sup>-1</sup>) =**

$$\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N}$$

▶ **desviación estándar del estrato (σ) =**

$$\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{N-1}^{1/2}$$

Donde:  
 $X_1$  = existencias de carbono en el núcleo 1;  
 $\bar{X}$  = media de contenido de carbono en el núcleo de un estrato;  
 N = número de núcleos en ese estrato.

**Paso 6.**  
**Existencias de carbono por área de muestra:** la suma total de los productos, por cada estrato, de la media de existencias de carbono (t ha<sup>-1</sup>) y el área del estrato.

▶ **Existencias de carbono por área de muestra =**

(media de existencias de carbono en el estrato 1 × área del estrato 1) + (media de existencias de carbono en el estrato 2 × área del estrato 2) + ... (media de existencias de carbono en el estrato n × área del estrato n)

**Paso 7.**  
 Para informar la incertidumbre relativa a las reservas calculadas de carbono para el área de muestra, el paso 5 se repite para cada estrato y se multiplica el resultado por el área del estrato; los valores resultantes de existencias de carbono por área se suman para obtener las cifras totales de carbono en el ecosistema.

▶ **Desviación estándar de las existencias de carbono por área de muestra (σ)**

$$\sqrt{(\sigma A^2 + \sigma B^2 + \dots + \sigma N^2)}$$

Donde:  
 $\sigma A$  = desviación estándar de la cantidad media de C del núcleo para el estrato A × área del estrato  
 $\sigma B$  = desviación estándar de la cantidad media de C del núcleo para el estrato B × área del estrato B  
 $\sigma N$  = desviación estándar de la cantidad media de C del núcleo para el estrato N × área del estrato N

## ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE CAPTURA EN LA SITUACIÓN DE BASE

Como se describió anteriormente, las emisiones en la situación de base (sin situación de proyecto) se atribuyen a los cambios en las reservas de carbono en reservorios de la biomasa, procesos del suelo o una combinación de ambos. En el caso de las praderas marinas y los humedales costeros, la tasa de captura de carbono o flujo de carbono se expresa en unidades de masa por unidad de superficie y tiempo (p. ej.,  $1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ). Las tasas de captura de carbono se expresan como tasas medias de acumulación a lo largo de un período de tiempo. Todas las tasas de acumulación deben estimarse para un mismo período de tiempo (p. ej., 100 o 1000 años), para que sea posible comparar las áreas [88].

En el siguiente ejemplo, se utiliza un período de 100 años como marco temporal para estandarizar la tasa de captura de carbono.

### Paso 1.

A partir de las existencias, se pueden calcular los **flujos de carbono** de dos maneras. El flujo medio de carbono en los últimos 100 años se puede calcular:

- multiplicando la tasa media de acreción de los últimos 100 años por la densidad media de carbono a la profundidad a la que el material alcanza 100 años de antigüedad;
- sumando las existencias de carbono del núcleo hasta la profundidad a la que el material alcanza 100 años de antigüedad y dividiendo el resultado por 100.

La literatura refleja ejemplos de ambos métodos en los que se obtienen los mismos valores.

### Paso 2.

#### Calcular la media y la desviación estándar de la captura de carbono para cada estrato

Puesto que las técnicas de datación son costosas, es habitual estimar la tasa de captura de carbono solo una vez por cada estrato. Si se ha calculado la tasa de captura de carbono para varios núcleos, la media y la desviación estándar deben calcularse para el estrato correspondiente (véase el capítulo relativo a las existencias de carbono).

### Paso 3.

#### Tasa total de captura de carbono por área de muestra:

la suma total de los productos, por cada estrato, de la tasa media de captura de carbono ( $\text{t ha}^{-1}$ ) y el área del estrato. Este total es equivalente, p. ej., al valor de  $\text{GEI}_{\text{base-suelo}}$  según la metodología VM0033.

#### Tasa de captura de carbono por área de muestra ( $\text{GEI}_{\text{base-suelo}}$ ) =

(tasa de acumulación media de carbono en el estrato 1  $\times$  área del estrato 1) + (tasa de captura media de carbono en el estrato 2  $\times$  área del estrato 2) + ... (tasa de captura media de carbono en el estrato n  $\times$  área del estrato n)

### Paso 4.

Para informar la incertidumbre relativa a la tasa calculada de captura de carbono para el área de muestra, el paso 3 se repite para cada estrato y se multiplica el resultado por el área del estrato; los valores resultantes se suman por cada área.

#### Desviación estándar de la tasa de captura de carbono por área de muestra ( $\sigma$ ) =

$$\sqrt{(\sigma A^2 + \sigma B^2 + \dots + \sigma N^2)}$$

Donde:

$\sigma A$  = desviación estándar de la tasa de captura media de carbono del núcleo para el estrato A  $\times$  área del estrato A

$\sigma B$  = desviación estándar de la tasa de captura media de carbono del núcleo para el estrato B  $\times$  área del estrato B

$\sigma N$  = desviación estándar de la tasa de captura media de carbono del núcleo para el estrato N  $\times$  área del estrato N

## CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES Y ELIMINACIONES DE GEI DEL SUELO EN UNA SITUACIÓN DE PROYECTO

Como se ha descrito anteriormente, un proyecto de carbono azul debe cuantificar sus emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Las emisiones pueden ser negativas (lo que supone la eliminación de gases de la atmósfera) o positivas (lo que supone la liberación de gases a la atmósfera).

En caso de que se desee o se necesite cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero del suelo en una situación de proyecto, se dispone, con carácter general, de las siguientes opciones para la obtención de valores (p. ej., para GEI<sub>suelo-SP</sub> conforme a la metodología VM0033):

### Cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub> del suelo de la zona del proyecto

#### Valores por defecto y factores de emisión

Algunas metodologías de cuantificación y supervisión de carbono, como VCS, facilitan los valores por defecto y los factores de emisión, cuando están disponibles estos valores con credibilidad científica. De este modo, los proyectos de restauración de marismas mareales pueden estimar las tasas de captura de CO<sub>2</sub> utilizando el valor por defecto facilitado por la metodología VCS (véase la tabla 2). No hay un valor por defecto disponible para proyectos de praderas marinas, por lo que es preciso recoger datos de campo para estos proyectos a menos que se disponga de datos publicados.

La metodología también permite que los proyectos empleen valores por defecto y factores de emisión publicados de manera externa en ciertos casos, siempre que provengan de publicaciones revisadas por expertos y sean apropiados para el tipo y las condiciones del ecosistema, así como para la región geográfica de la zona del proyecto). Los estándares como VCS permiten que los proyectos utilicen los factores de emisión establecidos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para la cuantificación de inventarios nacionales de GEI; en el caso de las praderas marinas, estos datos se basan en estudios de *Posidonia oceanica*. Los proponentes de proyectos deben utilizar estos valores en ciertos casos, pero deben justificar la idoneidad de su uso para las condiciones del proyecto en cuestión.

A medida que avanzan las investigaciones, los factores por defecto están sujetos a evaluaciones periódicas, por lo que pueden variar en el futuro.

#### Valores publicados

En los casos en que resulte prohibitivo medir un cambio específico de reservas de carbono (beneficio neto de GEI), ciertas metodologías de créditos de carbono permiten que los proyectos estimen los cambios, tanto en el proyecto como en la situación de base, utilizando los valores de las tasas medias de emisiones para un GEI determinado que figuran en la literatura científica. Los valores de los factores que figuran en la literatura deben estar derivados de sistemas idénticos o similares, a fin de reducir la variabilidad de las propiedades geomórficas, hidrológicas y biológicas de los ecosistemas.

Además, como se ha observado en algunos programas de restauración, las tasas de captura de carbono del suelo y la biomasa vegetal pueden tardar cerca de una década en alcanzar los niveles equivalentes a los de un ecosistema natural (Oreska *et al.*, 2020); además, los valores pueden variar con el tiempo.

#### Modelización

En la actualidad, los conocimientos relativos al almacenamiento de carbono y los flujos antes y después de los programas de restauración son muy limitados, y no hay demasiados modelos que estén lo suficientemente desarrollados y ensayados. Además, si bien existen ciertas estimaciones que sirven como modelo, las metodologías de cuantificación y supervisión de carbono establecen condiciones muy precisas para su uso.

#### Proxies

Los proponentes de proyectos pueden valerse también de *proxies* para estimar las emisiones de GEI. Se conoce como *proxy* a cualquier variable medioambiental que tenga un alto grado de correlación con una tasa de emisiones de gases de efecto invernadero. Las *proxies* no están suficientemente desarrolladas para los humedales mareales y las praderas marinas, pero algunas metodologías permiten que los proponentes

de proyectos justifiquen el uso de cualquier *proxy* ante la entidad de validación. Por ejemplo, los cambios en las reservas de carbono se utilizan como *proxy* para las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de las reservas de carbono orgánico del suelo.

### Datos recogidos sobre el terreno

Estos factores por defecto pueden subestimar o sobrestimar los beneficios netos de GEI; por tanto, es recomendable que los proyectos efectúen medidas directas de los cambios en las reservas, cuantifiquen las reservas de base de carbono orgánico en el sedimento y el carbono alóctono o el aumento de los flujos de GEI.

Las metodologías de cuantificación y supervisión recomiendan medir reiteradamente las reservas de carbono orgánico del suelo con el paso del tiempo para cuantificar el incremento de carbono orgánico captu-

rado (es decir, los cambios en las reservas). Por tanto, los proyectos deben realizar un seguimiento periódico, ya que la tasa de captura del carbono en el suelo en un ecosistema puede aumentar de forma no lineal y fluctuar una vez que el ecosistema alcanza la madurez. Las mediciones reiteradas de los cambios en las reservas pueden también aportar un enfoque más fiable acerca de la forma en que la remineralización afecta a este carbono de tipo orgánico, especialmente en la capa mixta superior del sedimento, a fin de determinar la tasa de captura y poder cuantificar los créditos por compensación de carbono.

Además, los proyectos deben considerar la presencia de suelos orgánicos o minerales; los proyectos con suelos minerales deben determinar una deducción de la tasa de captura del carbono del suelo que se corresponda con el carbono alóctono, es decir, el carbono procedente de fuera del ecosistema.

**Tabla 2:** Ejemplos de factores de emisión por defecto del IPCC y valores referidos por la literatura, datos de modelización y de campo.

Descripción	Valor	Comentarios	Fuente de los datos/ Referencia
Factor anual de emisión de CO <sub>2</sub> de las reservas de carbono orgánico del suelo en marismas mareales	1,46 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Valor por defecto para marismas mareales, solo aplicable en áreas con una cubierta de copa de al menos el 50 por ciento	Metodología VM0033 de VCS
Factor de emisión anual asociado con la rehumectación de praderas marinas en suelos minerales al inicio del restablecimiento de la vegetación	-0,43 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	A partir de dos estudios de <i>Posidonia oceanica</i>	Informe metodológico del IPCC (ecuación 4.7, suplemento sobre humedales del IPCC 2013)
Factor de emisión anual asociado con la rehumectación de marismas mareales en suelos minerales y orgánicos agregados, al inicio del restablecimiento de la vegetación	-0,91 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Marisma mareal de suelos minerales y orgánicos agregados	Informe metodológico del IPCC (ecuación 4.7, suplemento sobre humedales del IPCC 2013)
Factor de emisión anual asociado con la rehumectación de marismas saladas en suelos minerales al inicio del restablecimiento de la vegetación	-6,64 t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> (1,81 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Estudios de campo (Andalucía, España) Área de revegetación de marisma media (una ubicación)	32
Factor de emisión anual asociado con la rehumectación de marismas mareales en suelos minerales y orgánicos agregados, al inicio del restablecimiento de la vegetación	-0,81 t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> (0,22 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Estudios de campo (Andalucía, España) Salar rehumectado (una ubicación)	32
Factor de emisión anual asociado con la rehumectación de praderas marinas en suelos minerales al inicio del restablecimiento de la vegetación	-5,19 t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> (1,41 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Estudios de campo (Andalucía, España) Pradera marina de <i>Posidonia oceanica</i> en fase de recolonización (dos ubicaciones)	22
Factor de emisión anual asociado con la rehumectación de praderas marinas en suelos minerales al inicio del restablecimiento de la vegetación	-0,21 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> 0,42 t C ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>	Publicación: <i>Pradera de Zostera</i> marina replantada en Virginia (EE. UU.) Rango después de 10 y 15 años, respectivamente.	109
Factor anual de emisión asociado con la regeneración de marismas mareales en suelos minerales	-10,1 t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> (2,75 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Modelo medio entre distintas perturbaciones	110
Factor anual de emisión asociado con la regeneración de praderas marinas en suelos minerales	-2-4 t CO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> (0.54-1.09 t C ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Modelo medio entre distintas perturbaciones	110



© WILD WONDERS OF EUROPE / LOPEZ

## Cuantificación de emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del suelo de la zona del proyecto

Las emisiones de estos GEI pueden medirse y cuantificarse de distinta forma, en función de las condiciones de la metodología. Por lo general, se toman en consideración los siguientes factores:

- Los valores publicados, si existen tales datos.
- Los valores por defecto: para el CH<sub>4</sub>, se facilitan estos valores para humedales mareales con un punto de salinidad bajo o medio, por encima de 18 ppt; en el caso del N<sub>2</sub>O, solo pueden utilizarse si no se dispone de valores publicados y si la zona del proyecto no recibe aportaciones hidrológicas directas de una fuente puntual o no puntual de nitrógeno. No es preciso considerar las emisiones de óxido nítrico de las praderas marinas.
- En marismas de salinidad más baja, las opciones de cuantificación de metano permiten el uso de modelos y proxies, si están disponibles; en cambio, en el caso del óxido nítrico, la cuantificación solo es relevante en aquellas circunstancias en las que entran en juego altas aportaciones directas de nitrógeno.
- Los datos recogidos sobre el terreno mediante técnicas de flujos de gas, como el método de cámara estática. Este método consiste en instalar una cámara en la superficie que atrapa en su interior los gases emitidos y extraer diversas muestras en momentos

determinados; entonces, se usa el aumento de la concentración de GEI de las muestras para calcular los GEI (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) emitidos por el suelo, mediante la comparación de parcelas vegetadas y desnudas. El manual de carbono azul costero de *Blue Carbon Initiative* [75] incluye una descripción más detallada de las técnicas de flujo de gas.

Las emisiones acumuladas y aumentadas de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O atribuibles a la intervención del proyecto se estiman multiplicando los flujos aumentados (es decir, netos) medios (g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>) por el área a lo largo del tiempo.

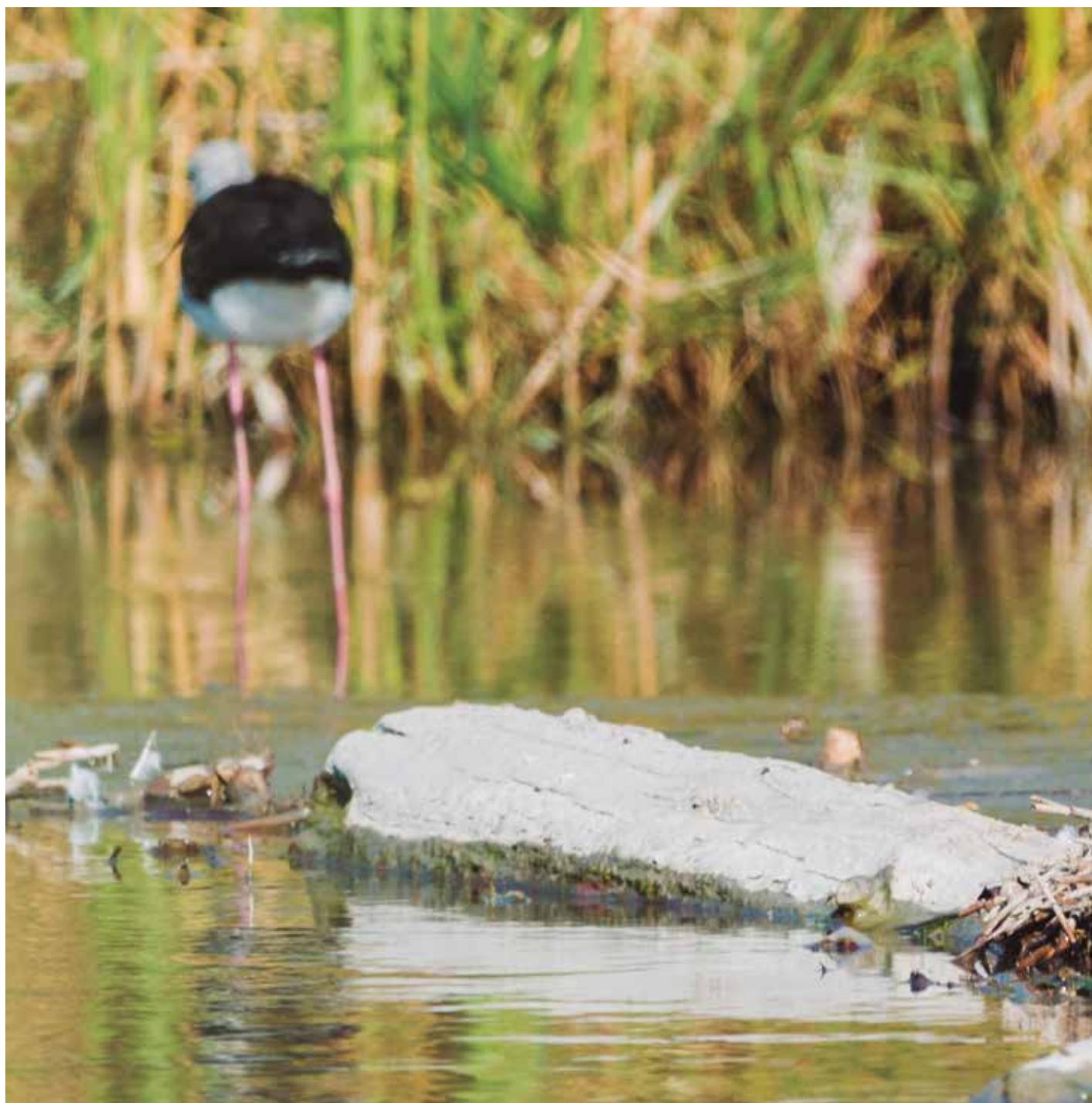
### Project emissions from fossil fuel use and other actions

Además de lo anterior, las emisiones en situación de proyecto deben cuantificar también los cambios en la biomasa de vegetación y la liberación de CO<sub>2</sub> procedente del uso de combustibles fósiles; p. ej., en casos de uso significativo de maquinaria para labores de movimiento de tierras en un proyecto de carbono azul o de quema de vegetación producida durante la ejecución del proyecto.

### The Net GEI Emission Reduction and Removals

El valor neto de GEI (RNE<sub>RH</sub>) se obtiene como resultado de la diferencia entre las emisiones de base y las emisiones del proyecto, contando también con las fugas.

## CAPÍTULO 8: RESTAURACIÓN DE SISTEMAS DE CARBONO AZUL





## RESTAURACIÓN DE SISTEMAS DE CARBONO AZUL

La restauración ecosistémica es una poderosa herramienta para recuperar ecosistemas que se han perdido o que han sido destruidos, junto con los servicios que prestan al medio. Los mercados de carbono ofrecen una fuente de ingresos para financiar la restauración de ecosistemas que, como las marismas saladas y las praderas marinas, fomentan la eliminación de CO<sub>2</sub> de la atmósfera y evitan la liberación del CO<sub>2</sub> almacenado.

Los proyectos de restauración centrados en los servicios de carbono azul pueden financiarse a través de los mercados de carbono voluntarios, en los que las compañías privadas pueden optar por comprar bonos de carbono de forma voluntaria, habitualmente como muestra de responsabilidad social corporativa. También es importante que los proyectos de restauración se encuadren en las planificaciones locales de adaptación al cambio climático para preservar el carbono y otros beneficios ecosistémicos que ofrecen estos hábitats.

La definición aportada de restauración implica el regreso a un estado anterior del ecosistema gracias a las acciones de un programa determinado. Aunque una restauración puede resultar beneficiosa para una zona, es preciso tener en cuenta que las actividades necesarias para llevarla a cabo pueden mejorar algunos parámetros del ecosistema y deteriorar otros. Por tanto, es imprescindible tomar en consideración el equilibrio de los resultados de las actividades de restauración para cualquier conjunto de intervenciones, así como el objetivo de minimizar toda posible reducción de los servicios ecosistémicos existentes [89].

La colaboración con las comunidades locales supone una valiosa fuente de conocimientos sobre el estado anterior del ecosistema que se desee restaurar. Según el estándar para soluciones basadas en la Naturaleza<sup>28</sup>, es de vital importancia tener en cuenta las necesidades y las aspiraciones de las comunidades locales al diseñar proyectos de restauración, ya que estas pueden contribuir a la protección del ecosistema restaurado. Este enfoque requiere entablar un diálogo con las comunidades locales antes de la preparación del proyecto y durante la ejecución del mismo [90].

### Mitigación

Reducción o compensación del impacto de ciertas actividades conocidas; incluye diversas opciones de gestión.

### Rehabilitación

Mejora, acrecentamiento o enriquecimiento de un área degradada o afectada.

### Restauración

Restitución de un ecosistema que se encuentra en un estado alterado o completamente modificado a las condiciones naturales o modificadas que existían previamente.

**Restauración pasiva:** este término hace referencia a las acciones que permiten la recuperación natural del ecosistema por medio de la eliminación de factores de estrés medioambiental o fuentes de degradación. La restauración pasiva se apoya en la resiliencia del ecosistema, es decir, en su capacidad de volver a sus condiciones anteriores una vez que desaparece el factor problemático. Un ejemplo de restauración pasiva sería la implementación de normas de gestión para prohibir los anclajes en aguas sobre praderas marinas, lo que evitaría nuevos impactos y permitiría a las especies de praderas locales recolonizar las zonas afectadas.

**Restauración activa:** este término hace referencia a las acciones que intervienen directamente en la gestión de un ecosistema para corregir el estado de degradación. Este enfoque suele adoptarse cuando el ecosistema carece de la capacidad de recuperarse por sí mismo una vez que desaparecen los factores de estrés medioambiental, o si dicha capacidad de recuperación es lenta. Ejemplos de restauración activa serían la revegetación de una pradera marina, la construcción de diques o la adición de sedimentos para elevar la superficie del suelo en marismas saladas.

### Creación

Establecimiento de una marisma salada o una pradera marina en una ubicación de la que no constan registros de la presencia de estos ecosistemas.

<sup>28</sup> Criterio 5: Las soluciones basadas en la Naturaleza se basan en procesos de gobernanza inclusivos, transparentes y de empoderamiento. Estándar SBN de la UICN.

## CONCEPTUALIZACIÓN Y DESARROLLO DE UN PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE CARBONO AZUL

A continuación se propone un enfoque paso a paso de conceptualización y desarrollo de un proyecto de restauración en marismas saladas o praderas marinas (fig. 34), que sintetiza los enfoques de restauración de ecosistemas costeros anteriormente mencionados [89, 91, 92].

### Definición de propósitos y objetivos

Esta fase requiere la identificación del objetivo biológico (especie o comunidad) que se desea restaurar y el consiguiente proceso de familiarización con sus características biológicas y ecológicas generales. También forma parte de esta etapa la necesidad de definir el tipo de intervenciones y el servicio ecosistémico en el que se centrarán. En el caso de los proyectos de carbono azul, es preciso declarar y definir de qué tipo de proyecto se trata (véase la sección anterior), incluyendo los propósitos, los objetivos a corto y largo plazo y los criterios de éxito.

### Elección del área de restauración

En algunos casos, la ubicación de las actividades de restauración se conoce de antemano; en otros, es necesario llevar a cabo un estudio paisajístico para identificar la localización más idónea para maximizar el éxito. La recopilación de información relativa a las condiciones medioambientales que afectan al servicio ecosistémico que conforma el objeto del proyecto propuesto resulta esencial a la hora de determinar la ubicación más apropiada. Las áreas en las que ha desaparecido la causa de la regresión del ecosistema pero no ha tenido lugar una recuperación natural (o se ha producido de forma muy lenta) constituyen zonas de interés para los proyectos de restauración activa, ya que es necesario eliminar la causa del declive ecosistémico para asegurar el éxito del proyecto.

En el caso de la restauración de praderas marinas, las zonas resguardadas con suficiente luz, cercanas a la pradera donante o de profundidad similar a la de esta, constituyen ubicaciones ideales para maximizar el éxito del proyecto [93]. Cuanto mayor sea el área en la que se lleven a cabo las intervenciones del proyecto, mayor será la tasa de éxito, ya que cualquier efecto negativo o variación local tendrá un impacto parcial, en el peor de los casos [93, 94]. La elección de una ubicación inadecuada suele estar entre las causas más frecuentes de fracaso de proyectos de restauración [95].

Figura 34: Línea temporal esquemática para la planificación, la implementación y la ejecución de actividades de proyectos de restauración.



### **Conocimiento de la ubicación del proyecto**

Esta etapa consiste en la recopilación de información sobre las condiciones actuales y pasadas de la ubicación escogida. Es preciso identificar a los participantes clave, además de los requisitos legales y las responsabilidades.

### **Establecimiento de un sitio de referencia**

Un sitio de referencia es una pradera marina o una marisma salada de la misma zona con un menor nivel de degradación y con condiciones medioambientales similares, que puede facilitar indicaciones acerca de cómo funciona el ecosistema sin el factor problemático o con menores alteraciones. De este modo, es posible definir con mayor acierto los propósitos, los objetivos y las actividades del proyecto.

### **Redefinición de propósitos y objetivos**

La información recogida debe emplearse para reevaluar la viabilidad de los propósitos del proyecto y para plantear objetivos específicos, así como las tareas derivadas de los mismos.

### **Aplicación de métodos de gestión adaptativa**

Por muy detallada que sea la información inicialmente recogida, siempre se producirán consecuencias e imprevistos o habrá más información disponible. La gestión adaptativa supone la reevaluación continua del proyecto para incorporar nueva información o sucesos inesperados.

### **Priorización de medidas potenciales**

En caso de que sea posible implementar diversas técnicas, se recomienda el siguiente orden de prioridad: restauración pasiva > restauración con materiales blandos (ingeniería blanda) > restauración con materiales duros (ingeniería dura).

En este sentido, las alternativas respetuosas con el medio ambiente que se apoyan en combinaciones de materiales naturales o vivos, menos habituales que los enfoques de ingeniería convencionales (p. ej., infraestructura de construcción dura para dispositivos de defensa de las costas), pueden tener un gran potencial de inversión privada y allanan el camino para modalidades de infraestructuras híbridas o basadas plenamente en la naturaleza.

### **Diseño, preparación, planificación y documentación**

Esta etapa implica la integración de la información recogida en los pasos anteriores y concluye con la preparación de un plan de acción, en el que indican las técnicas apropiadas para la ubicación, los indicadores de éxito, un programa de seguimiento y la documentación requerida. Un análisis coste-beneficio de los resultados puede ofrecer una estimación realista de la financiación necesaria, incluyendo el coste de un programa de seguimiento para comprobar el éxito de la restauración. Se recomienda una revisión entre pares del proyecto para garantizar que su diseño se ajusta a los requisitos científicos y así disminuir las posibilidades de fracaso [95].

### **Implicación de los participantes y las autoridades otorgantes**

La colaboración con los participantes y las autoridades locales facilita la obtención de los permisos legales. Además, cuanto más se impliquen, mayores serán las posibilidades de éxito en la ejecución del proyecto. Las comunidades locales pueden aportar valiosa información al proyecto y contribuir a la conservación del ecosistema restaurado.



© JAVIER SOTO VAZQUEZ / ALAMY STOCK PHOTO

Las salinas son ubicaciones potenciales para proyectos de restauración de humedales.

115

## Implementación de la restauración y uso de la gestión adaptativa

### Ejecución

Es la etapa en la que se llevan a cabo las acciones de restauración. Todas las mediciones relativas a condiciones previas del ecosistema deben realizarse antes de la ejecución. Es importante conocer las tareas de supervisión que deberán llevarse a cabo en el futuro para asegurarse de implementar toda estructura o acción necesaria durante esta fase.

### Supervisión a largo plazo

La fase de supervisión permite comprobar el impacto y el potencial éxito del proyecto. Si no se han alcanzado los objetivos del proyecto, es posible que sean necesarias algunas correcciones después de la fase de ejecución, como la replantación de semillas o la excavación de nuevos canales. El programa de seguimiento permite identificar este tipo de necesidades. Los planes de seguimiento, p. ej., entre cada 5 y 10 años, son obligatorios en los proyectos de carbono azul para poder demostrar la adicionalidad.

### Conservación de la zona del proyecto

Suele ser necesaria una gestión a largo plazo, que puede incluir la inclusión o la actualización de normativas existentes o marcos jurídicos (p. ej., zonas marinas protegidas) para garantizar que la zona funciona como se espera y no regresa a un estado de degradación una vez finalizadas las actividades de restauración.

### Evaluación del alcance del éxito

Los objetivos claros de restauración permiten medir el alcance del éxito del proyecto, y también es indicativo de cómo se puede gestionar la restauración de forma adaptativa para mejorar los resultados. Se emplean métodos de supervisión para determinar si las actividades de restauración brindan la respuesta deseada en el hábitat cuando los éxitos pueden superar los objetivos iniciales de restauración.



© M. OTERO / UICN



© AGUSTÍN BARRALÓN DOMENECH / AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE ANDALUCÍA

### Evaluación de un proyecto de restauración de carbono azul en Agua Amarga, en el Parque Natural de Cabo de Gata-Níjar (Andalucía)

Este espacio protegido alberga una de las mayores praderas marinas de la región andaluza. Suelen frecuentarlo embarcaciones deportivas de pequeño tamaño, especialmente durante la temporada veraniega. El uso de anclas caseras fabricadas a partir de bloques de cemento con cadenas que se rompen fácilmente parece estar dañando notablemente las praderas marinas, al igual que el arrastre de las anclas y el rozamiento con las cadenas por el fondo marino provocado por el balanceo de las embarcaciones. Todo esto provoca la degradación de las praderas, con las consiguientes emisiones de GEI que van aumentando con el paso del tiempo. El estudio abordó:

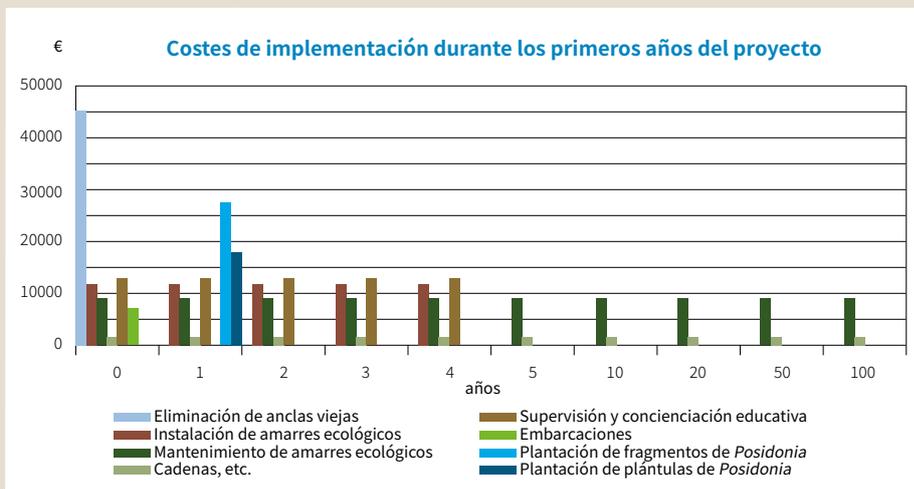
- los costes asociados a las actividades iniciales de restauración (eliminación de las anclas de hormigón, instalación de amarres ecológicos, replantación de Posidonia con esquejes y semillas);
- los costes asociados a los procesos de acreditación y verificación de carbono; y
- los costes asociados a la gestión a largo plazo (mantenimiento y supervisión de los amarres ecológicos, labores educativas y de concienciación).

La información disponible de la zona incluía datos sobre las tasas de acreción de los sedimentos, la cobertura, y las reservas y la tasa de captura de carbono tanto en el primer metro de sedimentos de las zonas de praderas (con profundidad) como en otras áreas degradadas por la acción mecánica. El ejercicio concluyó con la evaluación del uso de los mercados de carbono.

Aunque la ejecución de este tipo de proyectos plantea beneficios de mitigación climática, estas intervenciones se adecuan mejor a incentivos de mercados ajenos a los del carbono, que permiten a compañías y mecanismos de financiación privados invertir en las tareas de restauración.

Referencias: UICN (2021). Estudio de viabilidad, LIFE Blue Natura

**Figura 35:** Evaluación de los costes de implementación de un proyecto de restauración de carbono azul en 2020 en Almería (España). Fuente: UICN.



## RESTAURACIÓN DE PRADERAS MARINAS

La restauración de praderas marinas es una disciplina en rápida evolución; si bien aún quedan lagunas considerables por subsanar, recientemente se ha desarrollado toda una plétora de herramientas y técnicas llamadas a mejorar la eficacia, la rentabilidad y la escalabilidad de los programas de restauración.

La **restauración pasiva de praderas marinas** suele implicar la restricción de actividades dañinas, como la pesca de alto impacto, o la mejora de la calidad del agua por medio de la eliminación de salidas de alcantarillado y de residuos agrícolas para contrarrestar la eutrofización o las extracciones de áridos. Así pues, la subsanación de las causas de los impactos para permitir la autorrecuperación del ecosistema a través de proyectos de carbono azul puede constituir una actividad de gran valor, siempre que resulte económicamente viable [10]. La introducción de legislación encaminada a proteger los hábitats de importancia ecológica que funcionan como sumideros de carbono puede tener también potencial de cara a los proyectos de carbono azul.

Las praderas marinas con especies de crecimiento rápido y bancos de semillas significativos tienen una alta capacidad de restauración ecosistémica; sin embargo, esta capacidad es baja en las especies de crecimiento lento.

A diferencia de la restauración pasiva, que depende en última instancia de la recolonización natural, las

labores más habituales de **restauración activa de las praderas marinas** incluyen las de revegetación de las zonas degradadas o desnudas, que además pueden llevarse a cabo de forma paralela a otras actividades restaurativas centradas en la gestión de amenazas y presiones en un ecosistema. Pueden incluir acciones como la plantación física de praderas marinas, la distribución o la plantación de semillas o la ingeniería de costas para modificar los regímenes hidrodinámicos o de sedimentación.

En el pasado, se han descartado con frecuencia los proyectos de revegetación que proponen la plantación física de praderas marinas como alternativa a otras labores de restauración, como consecuencia de sus elevados costes de ejecución y del fracaso de previas restauraciones similares. Sin embargo, algunos enfoques y metodologías más recientes han tenido resultados positivos, lo que nos permite identificar mejor las oportunidades de proyectos de carbono azul que podrían facilitar la recuperación de las praderas marinas en la actualidad [4]. Un proyecto de revegetación puede implicar el uso de diversas técnicas, como el trasplante de fragmentos de rizomas, brotes o plántulas de praderas marinas (a los que se denomina «unidades de trasplante»), la dispersión de semillas para potenciar el desarrollo de una nueva pradera o nuevos sedimentos costeros, o las modificaciones hidrodinámicas encaminadas a fomentar el asentamiento de las semillas, los fragmentos o los propágulos de praderas marinas.

Proyecto de restauración: plantación de fragmentos de rizomas de praderas de *Posidonia oceanica* en la bahía de Pollença, en Mallorca. Proyecto de reforestación marina fundado por Red Eléctrica (España).





© IMEDEA (CSIC UIB)

Plántulas de *Cymodocea nodosa*.



© IMEDEA (CSIC UIB)

Plántulas de *Posidonia oceanica*.

## Especies de praderas marinas de crecimiento rápido y lento

Las praderas marinas representan una segunda colonización de entornos marinos por parte de plantas terrestres. Aunque todos ellos han desarrollado mecanismos similares de adaptación al entorno marino, muestran una gran variedad de estrategias vitales y reproductivas. Desde el punto de vista de la gestión ecosistémica, es posible identificar dos grupos de especies: las de crecimiento rápido y las de crecimiento lento [97].

### LAS ESPECIES DE CRECIMIENTO RÁPIDO

se denominan también oportunistas o colonizadoras: colonizan rápidamente áreas cuyas características medioambientales son favorables para el crecimiento de praderas marinas, y son las primeras que aparecen después de un proceso de degradación. Producen grandes cantidades de semillas en comparación con las especies de crecimiento lento y son las que más se benefician de las estrategias de restauración pasiva. Los trabajos de revegetación con praderas marinas de crecimiento rápido suelen apoyarse en la dispersión de las semillas. En Europa, el género de crecimiento rápido más extendido es *Zostera*, que se distribuye por toda la costa del Atlántico y el mar Báltico; le sigue *Cymodocea*, que es muy abundante en el Mediterráneo.

### LAS ESPECIES DE CRECIMIENTO LENTO

conforman las praderas más persistentes, son las más productivas y acumulan las mayores reservas de carbono. Estas especies crecen a un ritmo muy lento y presentan un banco de semillas muy reducido o nulo. La restauración pasiva de las praderas de crecimiento lento se ve dificultada por la baja tasa de colonización de estas especies. Por lo general, suele ser necesario combinar técnicas pasivas y activas de restauración. Los proyectos de revegetación con estas especies suelen basarse en los trasplantes de brotes, rizomas o plántulas. La especie más común en Europa es *Posidonia oceanica*, que se distingue por formar las praderas marinas con mayores reservas de carbono [38].

## Restauración activa: Recogida de unidades de trasplante

Las experiencias de restauración de praderas marinas han desarrollado desde estudios piloto a pequeña escala hasta ensayos de trasplantes de gran envergadura, con técnicas de plantación tanto manual como mecánica y una amplia gama de métodos de anclaje [90].

Las unidades de trasplante pueden ser plántulas de praderas marinas, brotes o fragmentos de rizomas; por lo general, se obtienen de una pradera marina ya existente, a la que se denomina «pradera donante». La selección de la pradera donante es una consideración de gran importancia, porque puede influir sobre la tasa de supervivencia de las unidades trasplantadas; cuanto más similares sean las características de la pradera donante y las del área que se pretende restaurar, más altas serán las expectativas de supervivencia, ya que las praderas locales se adaptan fácilmente a esas condiciones. Por este motivo, se recomienda obtener las unidades de trasplante de una pradera cercana, al mismo nivel de profundidad [93]. Este enfoque reduce también la necesidad de manipulación de las unidades de trasplante y el tiempo transcurrido entre la recolección y el propio trasplante, lo que contribuye a aumentar la tasa de supervivencia.

Sin embargo, la recogida de unidades de trasplante supone un impacto en la pradera donante; en el caso de las especies de crecimiento lento, esto puede contrarrestar los beneficios del proyecto de restauración. Recientemente, se han puesto a prueba sistemas de acuicultura en interiores e in situ para hacer germinar y crecer plantas de fanerógamas marinas hasta que

alcancen un tamaño que posibilite el trasplante, lo que suprime la necesidad de recolectar las unidades de trasplante de una pradera existente [90, 98]. Hasta ahora solo se han realizado unos pocos intentos, pero los resultados son prometedores.

Los restos de algas procedentes de praderas marinas que se acumulan en las playas o en la orilla de las aguas marinas constituyen otra fuente posible de unidades de trasplante. Tanto las semillas obtenidas de estas algas y los fragmentos de rizomas generados por tempestades se han utilizado con éxito como unidades de trasplante [90]; en el caso de los rizomas, los resultados han sido especialmente interesantes de cara a la revegetación de *Posidonia oceanica* [98].

En este caso, la distribución de las unidades de trasplante en el área de restauración influye también en las probabilidades de éxito. Las parcelas de restauración con mayor densidad de praderas presentan tasas superiores de supervivencia, gracias a la acción positiva y beneficiosa de las plantas de la misma zona. Por otra parte, cuanto mayor sea el número de parcelas de restauración, mayor será la probabilidad de éxito, puesto que se minimiza el riesgo de sufrir perturbaciones localizadas que afecten a un alto número de parcelas [93]. Por este motivo, siempre es recomendable apostar por un número elevado de parcelas y por densidades altas en cada una de ellas, buscando el equilibrio entre la cantidad de unidades de trasplante disponibles y la superficie del área de restauración.

Recogida manual de fragmentos a la deriva de *Posidonia oceanica*.



© IMEDEA (CSIC-UIB)

Producción de plántulas *Posidonia oceanica* a partir de frutos recogidos de las playas.



© UNIV. MURCIA E IMEDEA (CSIC-UIB)

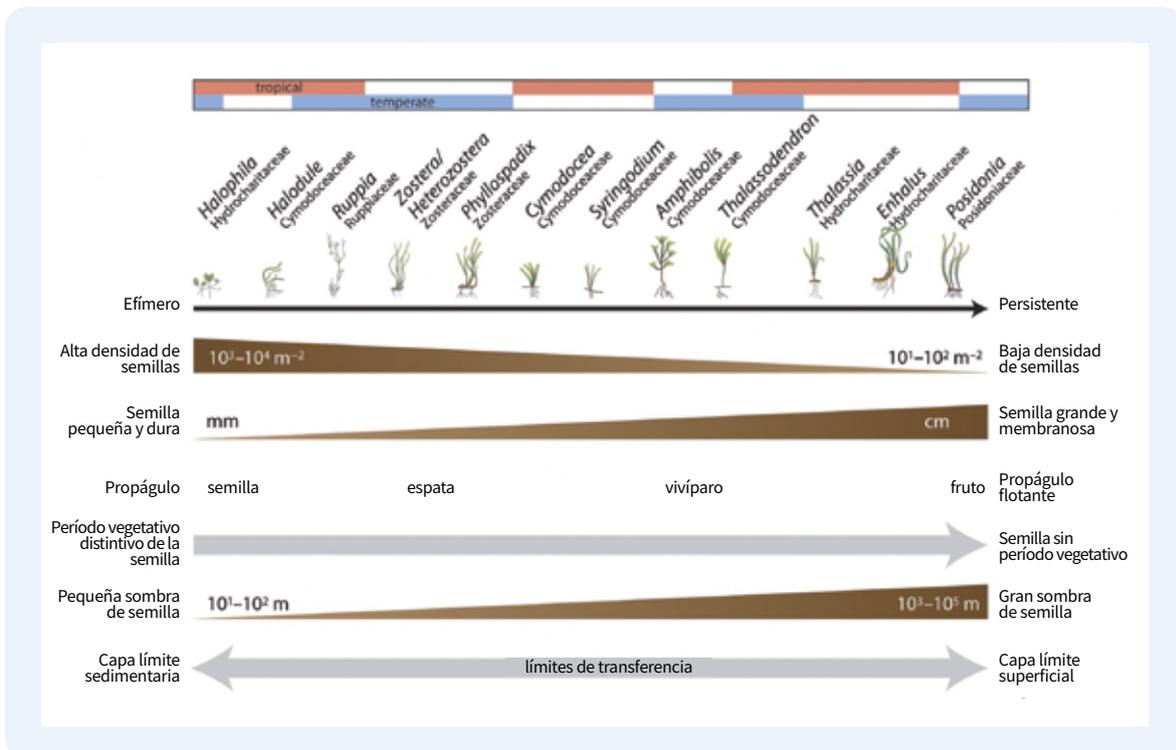
## Técnicas de revegetación

Es posible revegetar zonas desnudas o degradadas con praderas marinas por medio de semillas, fragmentos de rizomas vivos o plántulas; sin embargo, se ha demostrado que estos últimos son las unidades de trasplante menos efectivas [8]. No hay una sola técnica que garantice el éxito en todos los proyectos; el uso de una u otra depende del objetivo biológico y de la ubicación seleccionada. Las técnicas basadas en semillas están especialmente indicadas para la restauración de especies de crecimiento rápido [97]. Su uso con especies de crecimiento lento es menos eficiente porque estas producen una menor cantidad de semillas y, además, necesitan mucho más tiempo para que crezcan las plántulas. Sin embargo, los estudios apuntan a que la combinación de técnicas de trasplante y basadas en semillas aporta buenos resultados también con especies de crecimiento lento [99]. La principal ventaja de las técnicas basadas en semillas radica en que mejoran la diversidad genética de la población, por lo que aumentan la resiliencia del ecosistema restaurado [100].



Frutos de *Posidonia oceanica*.

## Características reproductivas de praderas marinas tropicales y templadas. Gary et al., 2012 [108]



## Técnicas basadas en semillas:

- **Siembra por voleo:** este método consiste en la dispersión libre de semillas a mano o por medios mecánicos [17].
- **Siembra asistida con boyas:** se trata de la recogida y suspensión con ayuda de boyas de brotes maduros en fase reproductiva por encima de la zona de restauración. Este método puede aplicarse a zonas de gran superficie, garantiza una alta diversidad genética y facilita la participación de los ciudadanos en el proyecto, lo que promueve la concienciación medioambiental y las labores de restauración [102]. No obstante, las plantas marinas suspendidas están expuestas al apacentamiento, lo que reduce la cantidad de semillas disponibles. La eficacia de selección de este método es reducida y solo se ha probado con *Zostera marina* [90,101].
- **Siembra por inyección:** esta técnica permite mezclar semillas con sedimentos e inyectar la mezcla en el sustrato con ayuda de una pistola sellante modificada. Los sedimentos se recogen cerca de la zona de restauración y se filtran para obtener un sustrato de grano fino. Este método resulta de especial utilidad en áreas expuestas a corrientes intensas; sin embargo, solo se ha probado con semillas de *Zostera marina* y es más trabajoso que otras técnicas [90].

Siembra asistida con boyas.



© J. HELSINKVELD / THE FIELDWORK COMPANY

Siembra por inyección.



© J. HELSINKVELD / THE FIELDWORK COMPANY

## Plántulas de *Posidonia oceanica* en el proyecto «Bosque marino» de Red Eléctrica en Mallorca (España)

### 2018

4 parcelas: 40×40 cm,  
16 plántulas  
por parcela

#### TASA DE SUPERVIVENCIA:

2019, 55 ± 14 %  
2020, 55 ± 14%



© IMEDEA (CSICUIB)

### 2019 y 2020

9 parcelas: 40×40 cm,  
1/32/64 plántulas por  
parcela

#### TASA DE SUPERVIVENCIA:

2020, 42 ± 23 %



© IMEDEA (CSICUIB)

## Técnicas de trasplante:

Se ha puesto en práctica una amplia variedad de métodos de anclaje, incluyendo el uso de grapas, bastidores, clavos de hierro o pesos. Estas experiencias, especialmente las relacionadas con las labores de restauración de *Posidonia oceanica*, con una baja producción de semillas, apuntan a que los fragmentos de rizomas presentan una mayor tasa de supervivencia que las plántulas. Hay muchas variables que pueden desempeñar un importante papel en el proceso de enraizamiento y en el rendimiento de un trasplante (p. ej., el sustrato, las técnicas, la hidrodinámica, etc.). También puede influir el desplazamiento de las herramientas a causa de la dinámica del agua, lo cual puede contribuir a desestabilizar el proceso de enraizamiento [93].

Al igual que los pesos, y a pesar de las pérdidas significativas en las áreas transplantadas, los bastidores de hormigón ofrecen resultados especialmente buenos a grandes escalas y a largo plazo en lechos arenosos [114]. Otros métodos investigados en mata de *Posidonia*

*oceanica* están arrojando resultados esperanzadores, pero se han utilizado en superficies más reducidas o se han estudiado durante un período de tiempo corto y todavía están en fase de evaluación. Además, en algunas ubicaciones, ha dado buenos resultados a largo plazo la colonización espontánea de *Posidonia oceanica* en lechos marinos consolidados con piedras.

Existe la posibilidad de utilizar fragmentos de rizomas generados por tormentas, pero esta opción ofrece menos garantías<sup>29</sup>.

Se han utilizado también plantas marinas artificiales y matas o matrices biodegradables para aumentar las tasas de supervivencia de las praderas plantadas en trabajos de restauración de estos ecosistemas, especialmente en zonas expuestas, ya que estas técnicas contribuyen a reducir las fuerzas hidrodinámicas, a estabilizar el tamaño del grano de los sedimentos y a evitar el apacentamiento [90].

<sup>29</sup> <http://www.lifeseponso.eu>

## Técnicas de trasplante

(Proyecto Life SEPOSSO)

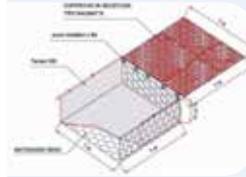
**Colonización espontánea**  
SUSTRATO: roca



**Marcos de cemento**  
SUSTRATO: arena



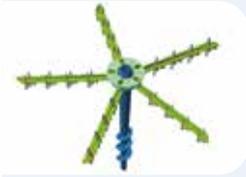
**Matrices**  
SUSTRATO: arena



**Matas**  
SUSTRATO: mata



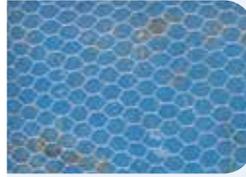
**Moléculas degradables (estrella)**  
SUSTRATO: mata



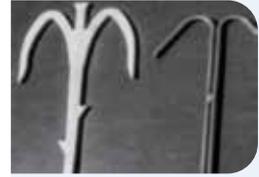
**Terrones**  
SUSTRATO: arena



**Malla metálica**  
SUSTRATO: mata



**Ganchos**  
SUSTRATO: mata



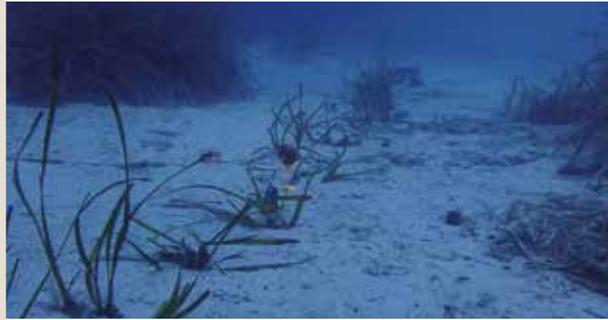
## Experiencias de restauración de praderas marinas

### Revegetación de una pradera de *Posidonia oceanica* perjudicada por el tendido de cables eléctricos

El tendido de cables eléctricos entre dos islas principales del archipiélago balear deterioró una pradera de *Posidonia oceanica*, en la que dejaba dos largas franjas de lecho marino desnudo. La promotora financió un proyecto de revegetación para restaurar la zona afectada.

Como unidades de trasplante, se utilizaron fragmentos de rizomas naturalmente desprendidos de la pradera y frutos recogidos del arribazón de las playas y cultivados en tanques de agua salada; de este modo, fue donante la propia pradera que debía restaurarse, por lo que la recogida de las unidades de trasplante no tuvo un efecto negativo sobre ella. Los fragmentos de rizomas y las plántulas se anclaron en los sedimentos. Este enfoque permitió altas tasas de supervivencia (en menos de un año) [98].

Fuente: Red Eléctrica de España, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados (CSIC-UIB).



© RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA E IMEDIA (CSIC-UIB)

124

Transplante con fragmentos de rizomas de *Posidonia oceanica*.



© RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA E IMEDIA (CSIC-UIB)

### Revegetación de dos hectáreas de una pradera degradada de *Posidonia oceanica*

Se restauraron dos hectáreas de pradera degradada de *Posidonia oceanica* en la bahía de Pollença (Mallorca); se trató del primer intento de repoblar una extensión tan amplia de *Posidonia oceanica*.

Como unidades de trasplante, se utilizaron fragmentos de rizomas naturalmente desprendidos de la pradera, que fueron anclados al sustrato. La tasa de supervivencia superó el 90 %. Las condiciones resguardadas de la zona permitieron que la pradera resistiera con éxito a las tormentas; sin embargo, todavía no se han comprobado los efectos positivos a largo plazo de la restauración [98, 99].

Fuente: Red Eléctrica de España, Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, Consejería de Medio Ambiente y Territorio (Islas Baleares) y Aeródromo Militar de Pollença.

## RESTAURACIÓN DE MARISMAS SALADAS

En general, las labores de restauración de los humedales costeros comprenden la gestión adecuada de las marismas existentes, la introducción de legislación encaminada a proteger los hábitats de importancia ecológica, la reducción del desarrollo exhaustivo a lo largo de la costa y la restauración propiamente dicha de las marismas dañadas. Asimismo, la preservación de las tierras bajas adyacentes permite a las marismas adaptarse y migrar hacia el interior para sobrevivir a la crecida del nivel del mar.

En la actualidad, las técnicas de restauración para humedales costeros (incluidas las marismas y los pantanos salados) son más avanzadas que las que existen para otros tipos de hábitats marinos o estuarinos. Como se mencionó anteriormente, durante la preparación de un proyecto de carbono azul, es importante considerar detenidamente cómo priorizar la selección de ubicaciones para labores de restauración de marismas saladas (p. ej., propiedad, restricciones hidrológicas, presencia de especies vegetales invasivas, historial de materiales de dragado y otros vertidos, uso de los terrenos adyacentes, necesidades de las comunidades locales), así como evaluar las alternativas que tienen mayor probabilidad de ofrecer mejores resultados.

Las soluciones para estos ecosistemas pueden centrarse en la restauración pasiva de los humedales degradados actuando sobre la fuente del deterioro; entre ellas se incluyen la prevención del apaciguamiento excesivo o la reducción de la entrada de nutrientes procedentes del alcantarillado y los residuos agrícolas e industriales. Estas acciones pueden restaurar las condiciones medioambientales necesarias para que se asiente la vegetación propia de las marismas saladas. En ocasiones, la restauración pasiva puede no ser viable, o puede ocurrir que la capacidad de recuperación del ecosistema sea insuficiente; en estos casos, se requieren labores más activas de restauración.

Algunos proyectos han demostrado la eficacia de ciertas técnicas de gestión a la hora de preservar o potenciar el uso del hábitat por parte de la fauna autóctona; no obstante, las necesidades hidrológicas, de calidad y de salinidad del agua son variables para las distintas especies de peces y otros animales, por lo que las técnicas de gestión aplicadas para mejorar las condiciones de los humedales para ciertas especies pueden tener un impacto negativo sobre otras.

### Acciones adicionales para restaurar los efectos de la erosión en marismas saladas.

Colocación de represas de madera para incrementar la sedimentación o prevenir la erosión. Estudio de caso en la marisma estuarina de Wadden Sea (Países Bajos).



© P.B.BROECK, BUREAU WAARDENBURG.



© P.B.BROECK, BUREAU WAARDENBURG.

## Restauración activa

Son muchas las actividades de restauración y generación de humedales costeros que pueden aportar beneficios netos de GEI, además de contribuir a estabilizar el litoral, mitigar los daños causados a pantanos y marismas naturales y repoblar zonas de biodiversidad y marismas saladas destruidas. A continuación, se indican algunas de las mejores prácticas para la restauración de marismas saladas [89, 92, 103, 104].

### Restauración de la hidrología natural y la morfología mareal (elevación, pendiente y sustrato)

Puesto que son muchos los pantanos y marismas que han quedado drenados, un primer paso crítico en el proceso de restauración es el restablecimiento de la hidrodinámica mareal. Los suelos orgánicos drenados continúan emitiendo CO<sub>2</sub> bien hasta que el nivel freático asciende casi hasta la superficie o bien hasta que se agotan las reservas de carbono. La eliminación de las barreras antropogénicas, como diques, represas o compuertas hidráulicas, o el desarrollo de nuevos canales mareales son soluciones que se emplean para restaurar la influencia del mar y el agua dulce en la zona, lo que eleva el nivel freático y la superficie de la marisma.

Además, estos métodos propician la diversidad de especies vegetales y animales autóctonas, favorecen el flujo natural de nutrientes por la superficie de la marisma y aumentan la tasa de captura de carbono.

Sin embargo, la restauración de la influencia mareal en zonas que han sufrido fenómenos de subsidencia puede causar inundaciones demasiado prolongadas y transformar áreas de marismas altas en áreas medias o bajas, e incluso en llanuras mareales sin vegetación [92]. Por tanto, se recomienda que todo proyecto de restauración de las condiciones hidrológicas de una zona vaya precedido de una evaluación que determine si es necesario elevar el sustrato o instalar controles del nivel de agua.

En otras zonas con suficientes niveles de inundación mareal o en las que no sea posible la eliminación de los diques o las estructuras de control hidrológico, las labores de restauración pueden centrarse fundamentalmente en repoblar la vegetación autóctona para acelerar la recuperación natural.

### Restauración de las condiciones de salinidad (reducción de emisiones de CH<sub>4</sub>)

La salinidad influye en las emisiones de metano de las marismas saladas: en marismas embalsadas, drenadas, con diques o dinámicas mareales restringidas, es posible lograr reducciones notables de metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub> por medio de la restauración de los flujos interrumpidos de mareas salinas.

Algunos humedales costeros tienen obstruidos o restringidos los flujos mareales por la acción de diques o compuertas, que constituyen elementos comunes de protección de las infraestructuras costeras. Otros se drenaron en el pasado por motivos de desarrollo inmobiliario o agrícola o de lucha contra los mosquitos; en otras ocasiones, se elevó el nivel freático o se redujo el grado de salinidad, por ejemplo, para permitir la acuicultura, la producción de arroz o la construcción de carreteras. Todos estos casos se traducen en la dulcificación de las aguas y en inundaciones debidas a la retención de agua dulce drenada de las vertientes.

Las medidas de restauración mareal encaminadas a aumentar la influencia del mar en las marismas saladas, como la eliminación de compuertas mareales y otros dispositivos de restricción de flujos, contribuyen a reducir las emisiones de metano. Además, por sus propiedades clave para lograr reducciones rápidas, sustanciales y sostenibles, ofrecen beneficios complementarios relativos al aumento de la captura de CO<sub>2</sub> en otras intervenciones contra el cambio climático basadas en el uso de la tierra.

### Mejora de la gestión de las aguas pluviales y residuales

Una gestión adecuada de las aguas pluviales y residuales puede reducir los nutrientes que acceden a las marismas, procedentes del desarrollo urbano (p. ej., sistemas de alcantarillado) y de la escorrentía, y que contribuyen a su contaminación y a la floración de algas no deseadas. Se puede lograr este objetivo reduciendo el volumen y la frecuencia de las escorrentías pluviales y mejorando la calidad de estas aguas antes de que se viertan en cursos descendentes y en humedales costeros. A su vez, todo esto contribuye a mejorar la calidad del agua de las marismas saladas y las praderas marinas.

## Eliminación de materiales de dragado en marismas saladas y restauración de suelos

El drenado de las marismas saladas favorece la compactación de sus suelos; si, posteriormente, se restauran las influencias mareales, la zona puede quedar inundada, puesto que los suelos están menos elevados que antes de drenarse. Por este motivo, es necesario añadir directamente sedimentos o fomentar su deposición natural. Por otro lado, es posible que la calidad del suelo no sea la adecuada para sustentar la comunidad vegetal, por lo que puede ser necesario añadir nutrientes o materia orgánica.

El aumento de la acreción de sedimentos por medio de la eliminación de diques o la elevación de la superficie del suelo con material de dragado en otras zonas son posibles actividades que potencian la captura de carbono.

## Plantación y revegetación

Si una restauración no se traduce en una revegetación natural, puede ser necesario plantar propágulos y plantas para favorecer la recuperación y el establecimiento de comunidades vegetales locales, una vez restauradas las condiciones hidrológicas y del suelo. Es importante tener en cuenta que la revegetación no solo recupera la biodiversidad, sino que también influye en la restauración de los servicios ecosistémicos. Las plantas generan cambios en la topografía, la sedimentación, la presencia de oxígeno o el almacenamiento de

carbono a través del intercambio de gases; todos estos factores fomentan, en última instancia, la recuperación de los servicios de aprovisionamiento (p. ej., dinámica hidrológica), de regulación (p. ej., regulación climática, fertilidad del suelo y erosión) o de apoyo (p. ej., provisión de hábitats terrestre).

Para garantizar una colonización vegetal exitosa, puede ser preciso controlar la erosión, añadir nutrientes o plantar especies de crecimiento rápido que actúen como «cubierta» mientras las especies de crecimiento lento van colonizando la zona. Además, se debe supervisar el desarrollo de la comunidad vegetal en la zona restaurada para **eliminar las especies invasivas**, garantizar la biodiversidad de las marismas saladas, sustentar un ecosistema sano y controlar el impacto de los animales de pastoreo.

Los avances más recientes en los diseños de los trasplantes se apoyan en conocimientos de ingeniería, [106,107], al tiempo que la concienciación y la representación de las condiciones locales pueden aumentar el éxito de los programas de restauración a nivel paisajístico. Por ejemplo, para determinadas condiciones, el uso de estructuras biodegradables puede fomentar el establecimiento de parches de vegetación para trasplantes, mejorar el flujo y la energía hidrodinámica de las olas y estabilizar y acumular sedimentos, lo que radica en una mayor supervivencia y un mejor crecimiento de pequeños brotes en las marismas saladas, y también en la posibilidad de obtener un programa de restauración más rápido.



### Aumento de las reservas de carbono mediante la conservación de una marisma salada en un estado intermedio

Las especies pastoreadoras pueden tener un impacto notable en la tasa de captura de carbono en una marisma salada. Pueden alterar los niveles de almacenamiento de carbono a) eliminando la biomasa superficial, b) alterando la distribución de biomasa hacia las raíces, o c) modificando las condiciones abióticas que afectan a la descomposición y, por tanto, a la captura de carbono [105]. La gestión del pastoreo de los animales puede contribuir a aumentar las reservas de carbono en marismas maduras, especialmente en aquellas con suelos de grano fino.

Para conservar las marismas costeras en un estado intermedio, se mantienen las especies pastoreadoras (ovejas, ganado vacuno y pequeños herbívoros naturales como los gansos) en el sistema de la marisma. Solo por el efecto del apacentamiento, se logró aumentar el contenido de carbono por metro cuadrado hasta en un kilo, especialmente en las marismas más antiguas.

Fuente: Grupo Ecológico de Conservación y Comunidad, Universidad de Groninga; Grupo de Investigación y Gestión de Ecosistemas, Universidad de Amberes; Grupo de Ecología Espacial, Real Instituto de Investigaciones Marinas de los Países Bajos.

### Mejora de la conexión hidrológica de las marismas saladas del Delta del Ebro

En el contexto de un proyecto de mayor envergadura para restaurar una laguna costera en el Delta del Ebro, se restauró la conectividad entre fragmentos de marismas saladas aislados por diques. De este modo, se mejoró la resiliencia del ecosistema ante la subida del nivel del mar.

Fuente: Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries.



© M. OTERO / IUCN

### Evaluación de un proyecto de restauración de carbono azul en la bahía de Cádiz (Andalucía)

Esta zona de 216 hectáreas bordea el Parque Natural de la Bahía de Cádiz. El área propuesta para el proyecto muestra un preocupante estado de degradación y una alteración de las mareas, todo ello debido a trabajos pasados para modificar el perfil del terreno y cambios en el uso de la tierra para desarrollar cultivos agrícolas.

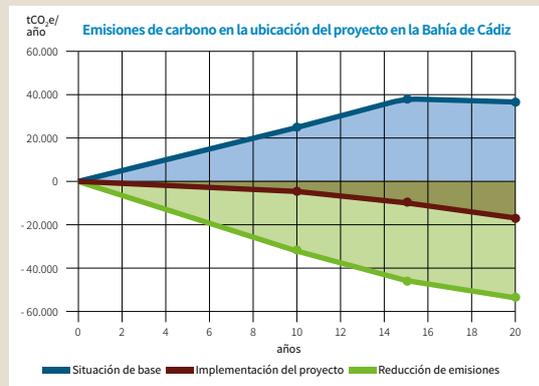
Las acciones contempladas por el proyecto tenían como objetivo mejorar el estado medioambiental y optimizar las condiciones para la captura de carbono y la reducción de emisiones de otros GEI; para ello, trataron de restaurar la hidrología natural y la morfología mareal de la zona. De este modo, se buscaba fomentar la restauración natural de las especies vegetales y animales propias de la marisma y favorecer el flujo natural de nutrientes por su superficie, lo que se traduciría en una mayor captura de carbono. Se evaluaron las emisiones y la captura de GEI en términos de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, tomando también en consideración la biomasa de la superficie.

El gráfico siguiente muestra la evolución de las emisiones estimadas acumuladas con el tiempo desde el escenario de base, en contraposición a la situación derivada de la ejecución de las acciones del proyecto y la correspondiente reducción de emisiones.

Fuente: IUCN (2021). Estudio de viabilidad, Life Blue Natura



© M. OTERO / IUCN



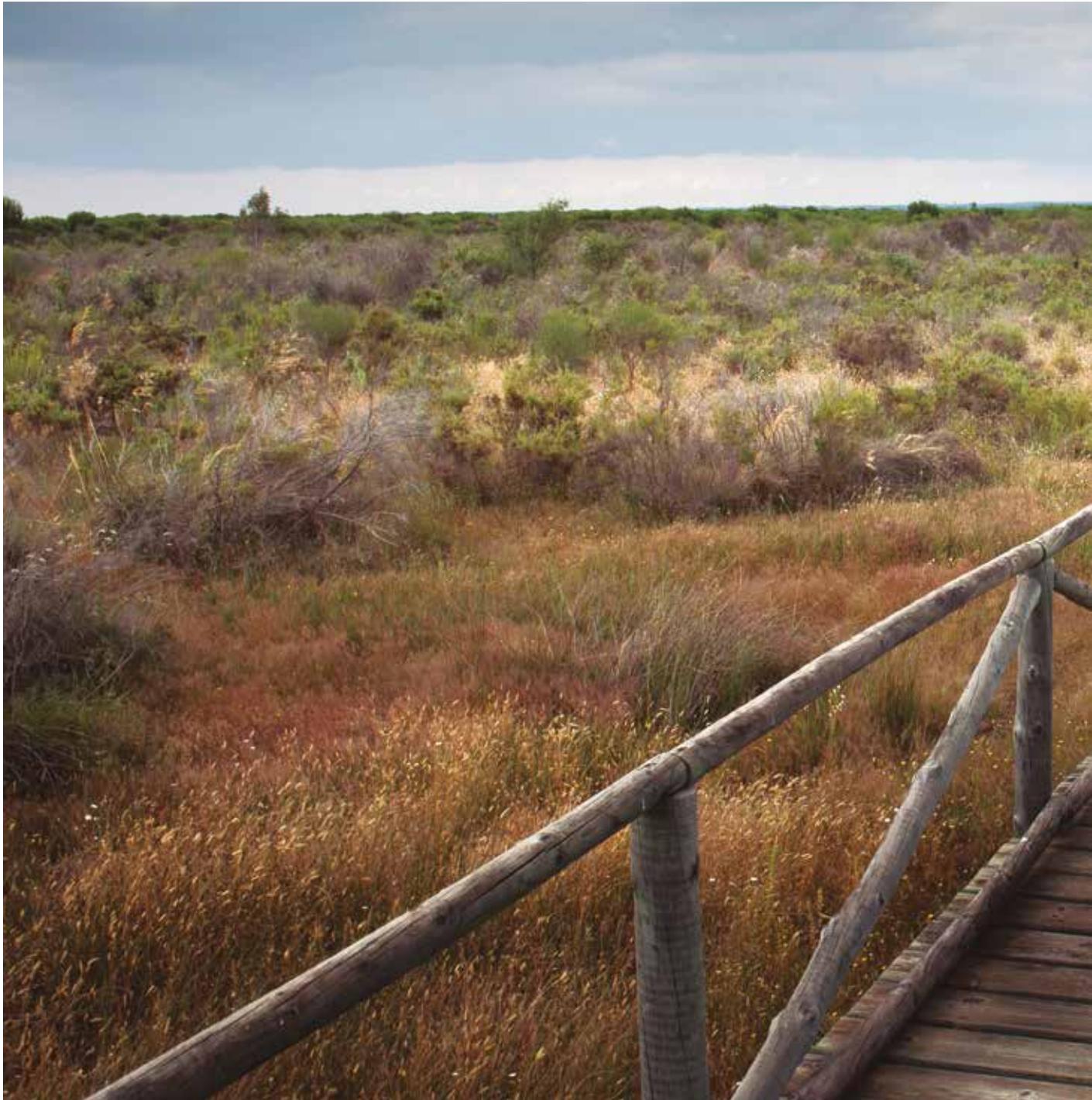
**Figura 36:** El potencial de carbono azul se determina a partir de la diferencia entre la situación de línea de base (cuando no se hace nada) y la situación de proyecto de carbono azul (protección/mejora).



La protección del hábitat de una marisma puede lograrse con gran plausibilidad técnica colocando represas de madera a lo largo del borde de erosión. Estos dispositivos protegen contra la energía de las olas y causan la retención de los sedimentos. Esta restauración activa puede prevenir una mayor erosión de la marisma salada

## CAPÍTULO 9:

# FUTUROS PROYECTOS DE CARBONO AZUL EN EUROPA Y EL MEDITERRÁNEO





## FUTUROS PROYECTOS DE CARBONO AZUL EN EUROPA Y EL MEDITERRÁNEO

Las soluciones basadas en la Naturaleza, como las que se pueden aplicar en los ecosistemas costeros de carbono azul, ofrecen un modo de generar resiliencia ante los efectos del aumento de las temperaturas, al tiempo que contribuyen a limitar dicho aumento al actuar como sumideros de carbono. Sin embargo, desplegar todo el potencial de los ecosistemas de carbono azul requiere medidas mejoradas de protección y restauración, así como acciones que no solo mitiguen el cambio climático, sino que potencien otros servicios ecosistémicos y ofrezcan beneficios de adaptación. Estas labores contribuyen a la consecución del Acuerdo de París y de otros objetivos internacionales presentes en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, como el objetivo de desarrollo sostenible de la vida submarina (ODS14) y, por supuesto, la acción por el clima (ODS13).

132

Completar las lagunas de conocimiento ayudará a desarrollar políticas efectivas y planes de protección y rehabilitación para los ecosistemas de carbono azul. El fortalecimiento de las labores de conservación y restauración es de vital importancia para evitar una mayor degradación, ya que ecosistemas como los humedales costeros y las praderas marinas de Posidonia contienen antíguísimos reservorios de carbono (previamente capturado y almacenado) que podrían liberarse a la atmósfera (p. ej., en forma de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>) y agravar los problemas del clima. Las labores de este tipo evitan las emisiones adicionales y mitigan el riesgo de futuros impactos climáticos.

Los mercados de carbono voluntarios sólidos y eficientes pueden financiar estas labores, y animan al sector privado a avanzar de forma más ambiciosa hacia la compensación de su contribución al riesgo climático. Por ahora, los regímenes voluntarios de compensación de carbono son más populares fuera de Europa, pero su utilidad potencial es enorme de cara a la potenciación de las labores de restauración y conservación en Europa y en el Mediterráneo.

La variedad y la diversidad de organizaciones activas en los mercados de carbono voluntarios se refleja en la panoplia de motivaciones que ofrecen las com-

pensaciones de carbono. Las organizaciones activas en los mercados de carbono voluntarios se interesan por las compensaciones de carbono que se ajusten a sus prioridades y a su presupuesto, y que además ofrezcan beneficios sociales y medioambientales más allá de la reducción de emisiones (p. ej. alivio de la pobreza, conservación de la biodiversidad, etc.)<sup>30</sup>. Un comprador de compensaciones de carbono puede plantear requisitos muy específicos en relación con el tipo de impacto que genera su actividad empresarial.

Dado que los ecosistemas de carbono azul suelen ser de dominio público en la mayoría de los países, los titulares de los programas deben entablar consultas con los gobiernos y los participantes locales desde el inicio del desarrollo del proyecto para asegurarse de tener en cuenta sus intereses y de que exista un compromiso a largo plazo.

Desde el punto de vista de los inversores privados, un primer requisito de los compradores voluntarios de compensaciones de carbono es disponer de seguridad respecto de la cantidad (y, en cierto modo, también la cantidad) de los bonos de carbono que adquieren. No resulta fácil convencer a una compañía para que pague por un producto aparentemente intangible; hasta la fecha, la única forma de superar esta reticencia es utilizar métodos sólidos de cuantificación de carbono. Además de los bonos de carbono verificados, las compañías suelen interesarse por impactos sociales y medioambientales de otro tipo, como la protección de la biodiversidad o la mejora de las condiciones de vida de las comunidades locales afectadas por los proyectos.

La demanda de proyectos voluntarios de carbono no es aún demasiado elevada, pero se espera que crezca (condicionada a la evolución de la pandemia de Covid-19<sup>31</sup>) gracias a la creciente popularidad de los proyectos de soluciones basadas en la Naturaleza y soluciones climáticas naturales. Se tendrán que ajustar los precios de los proyectos de carbono azul en función de los costes para garantizar su sostenibilidad; es posible que también sea necesario cuantificar los beneficios aportados más allá del ámbito del car-

<sup>30</sup> Fuente: Estado de los mercados de carbono voluntarios, 2016 (Forest Trends, 2016)

<sup>31</sup> <https://www.environmental-finance.com/content/analysis/strong-growth-predicted-for-voluntary-carbon-market.html>

bono. Este punto es de especial importancia en vista de los costes adicionales asociados a las labores en los entornos marinos.

En algunos casos, los proyectos de carbono azul ofrecerán beneficios sustanciales de mitigación del cambio climático, por lo que serán candidatos con grandes opciones de entrar en los mercados de carbono voluntarios. Sin embargo, no todos los proyectos pueden lograr financiación a través de los mercados de carbono; algunos pueden ser más apropiados para la aplicación de incentivos de mercados ajenos a los

del carbono, programas no certificados o subsidios para la modificación de prácticas.

El reconocimiento del impacto de los ecosistemas costeros de carbono azul sobre la mitigación del cambio climático, así como de sus cobeneficios, llega en un momento muy oportuno; ahora, el desafío consiste en seguir el camino marcado por estos éxitos tempranos y fomentar la ampliación del alcance y la velocidad de sus acciones de restauración y conservación.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

### **Asignaciones:**

Las asignaciones son unidades de libre comercio que se asignan a los participantes regulados en un sistema de comercio de derechos de emisiones. Cada participante en el sistema de comercio de derechos de emisiones debe renunciar a una asignación por cada tonelada emitida de CO<sub>2</sub>e

### **Carbono alóctono:**

Carbono producido en una ubicación y transportado y depositado en otra.

### **Carbono autóctono:**

Carbono producido y depositado en la misma ubicación. En el contexto de los sistemas de carbono azul, este tipo de carbono proviene de la absorción de CO<sub>2</sub> del océano o la atmósfera por parte de la vegetación; posteriormente, se convierte para su aprovechamiento por los tejidos vegetales y se descompone en el suelo del entorno.

### **Intermediarios:**

Los intermediarios median entre compradores y vendedores de bonos de carbono, sin comprar ellos mismos.

### **Carbono azul costero:**

El carbono almacenado en manglares, marismas saladas y praderas marinas, en forma de reservorios de carbono en el suelo y en la biomasa viva y muerta. El carbono azul costero es un subtipo del carbono azul que también incluye la variante oceánica, es decir, las reservas de carbono almacenadas en reservorios en el mar abierto.

### **Compensación de carbono:**

Una unidad de compensación de carbono representa una cantidad de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); se expresa en unidades (toneladas métricas) equivalentes de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>e) que se generan como resultado de un proyecto discreto. Las reducciones de emisiones de dicho proyecto se pueden vender para que el comprador/propietario de las mismas pueda reclamarlas como propias. Pueden utilizarse para reducir o compensar emisiones de GEI de las que el comprador sea responsable.

### **Estándar de compensación de carbono:**

Un estándar que contribuye a garantizar que los proyectos de compensación de carbono cumplan con ciertos requisitos de calidad, como la adicionalidad y la verificación por parte de terceros. Existen varios estándares de compensación en los mercados de carbono voluntarios y de cumplimiento regulado; cada uno de ellos dispone de un conjunto distinto de requisitos en función de su alcance y su enfoque.

### **Depósito o sumidero de carbono:**

Un reservorio de carbono. Se trata de un sistema con la capacidad de absorber de la atmósfera y almacenar más cantidad de carbono que la que libera en forma de dióxido. Los reservorios de carbono incluyen la biomasa superficial, la biomasa subterránea, los residuos, los suelos y la materia muerta.

### **Reservas de carbono:**

Cantidad absoluta de carbono contenida en un reservorio (p. ej., en un humedal) en un momento dado. Se mide en unidades de masa (p. ej., t CO<sub>2</sub>/ha).

### **Captura de carbono:**

Es el proceso consistente en la eliminación de carbono de la atmósfera y su deposición en un reservorio.

### **Tasa (o flujo) de captura de carbono:**

Es la transferencia de carbono de un reservorio (p. ej., la atmósfera) a otro (p. ej., un humedal) y se expresa en unidades de masa por unidad de superficie y tiempo (p. ej., t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>).

**Mecanismo de acreditación:**

Un mecanismo de acreditación permite la remuneración de las reducciones de emisiones por medio de la emisión de bonos comerciables de compensación por las reducciones de emisiones ya logradas.

**Reducciones de emisiones (bonos de carbono):**

Representan la prevención de la entrada en la atmósfera del equivalente a una tonelada de dióxido de carbono (t CO<sub>2</sub>e); se denominan también «bonos de carbono» y se utilizan para acciones de compensación de carbono. Incluyen:

- las reducciones verificadas de emisiones (RVE) para las acciones voluntarias en materia climática;
- las etiquetas de reducciones certificadas de emisiones (RCE) para alcanzar objetivos de cumplimiento.

**Inventario de GEI:**

Cuantificación de GEI emitidos o eliminados de la atmósfera durante un período de tiempo.

**Gases de efecto invernadero (GEI):**

Los gases atmosféricos responsables del calentamiento global y del cambio climático. Los GEI principales son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Algunos gases de efecto invernadero menos prevalentes, pero de efecto muy intenso, son los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

**Mitigación**

Una intervención humana, en el contexto del cambio climático, que tiene como objetivo reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero.

**Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC, por sus siglas en inglés):**

Un término empleado en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que hace referencia a la planificación de reducción de emisiones por parte de un país que se haya adscrito al Acuerdo de París. Las NDC de algunos países abordan también cuestiones relativas a la adaptación de los impactos del cambio climático y al apoyo que necesitarán o proporcionarán a otros países para adoptar métodos libres de carbono a fin de generar resiliencia climática. De conformidad con el artículo 4, apartado 2, del Acuerdo de París, cada Parte deberá preparar, comunicar y mantener las sucesivas NDC que pretenda lograr.

**Registros:**

La mayoría de las compensaciones con las que se comercia en los mercados voluntarios figuran en registros, que ofrecen un nivel adicional de responsabilidad y garantía en relación con el otorgamiento, la posesión y la adquisición de bonos. Los registros no comercian activamente con bonos de compensación, pero permiten a los compradores tomar conciencia de los bonos disponibles para su venta.

**Carbono orgánico del suelo:**

Es el componente carbónico de la materia orgánica presente en el suelo. La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la textura de este, del drenaje, del clima, de la vegetación y del uso actual e histórico de la tierra.

**Reducciones verificadas de emisiones (RVE):**

Una reducción verificada de emisiones es una unidad única (una tonelada) de reducción equivalente de CO<sub>2</sub> que se captura como bono de carbono para su uso como mercancía en un mercado de carbono voluntario.

**Mercado de carbono voluntario:**

Un mercado de carbono voluntario es aquél en el que se comercia con compensaciones voluntarias de las emisiones de gases de efecto invernadero. Permite a las empresas y a las personas compensar voluntariamente su impronta de carbono.

## REFERENCIAS

- [1] IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. In press.
- [2] Sabine CL, Feely RA, Gruber N, Key RM, Lee K, Bullister JL, et al. *The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>*. Science. 2004;305: 367–371. doi:10.1126/science.1097403
- [3] Sarmiento JL, Gruber N. *Sinks for anthropogenic carbon*. Phys Today. 2002; 30–36.
- [4] Nellemann C, Corcoran E, Duarte CM, Valdés L, De Young C, Fonseca L, et al. *Blue carbon: The role of healthy oceans in binding carbon. A rapid response assessment*. 2009.
- [5] Krause-Jensen D, Duarte CM. *Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration*. Nat Geosci. 2016;9: 737–742. doi:10.1038/ngeo2790
- [6] Chung IK, Beardall J, Mehta S, Sahoo D, Stojkovic S. *Using marine macroalgae for carbon sequestration: A critical appraisal*. J Appl Phycol. 2011;23: 877–886. doi:10.1007/s10811-010-9604-9
- [7] Duarte CM. *Reviews and syntheses: Hidden forests, the role of vegetated coastal habitats in the ocean carbon budget*. Biogeosciences. 2017;14: 301–310. doi:10.5194/bg-14-301-2017
- [8] Laffoley D, Baxter JM, Thevenon F, Oliver J. *The significance and management of natural carbon stores in the open ocean*. 2014; 124.
- [9] Laffoley D, Grimsditch GD. *The management of natural coastal carbon sinks*. IUCN; 2009.
- [10] Pendleton L, Donato DC, Murray BC, Crooks S, Jenkins WA, Sifleet S, et al. *Estimating global “Blue Carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems*. PLoS One. 2012;7: e43542. doi:10.1371/journal.pone.0043542
- [11] Herr D, von Unger M, Laffoley D, McGivern A. *Pathways for implementation of blue carbon initiatives*. Aquat Conserv Mar Freshw Ecosyst. 2017;27: 116–129. doi:10.1002/aqc.2793
- [12] Fourqurean JW, Duarte CM, Kennedy H, Marbà N, Holmer M, Mateo MA, et al. *Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock*. Nat Geosci. 2012;5: 505–509. doi:10.1038/ngeo1477
- [13] Duarte CM, Kennedy H, Marbà N, Hendriks I. *Assessing the capacity of seagrass meadows for carbon burial: Current limitations and future strategies*. Ocean Coast Manag. 2013;83: 32–38. doi:10.1016/j.ocecoaman.2011.09.001
- [14] IPCC 2014, 2013 Supplement to the 2006 IPCC *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland.
- [15] Lau WWY. *Beyond carbon: Conceptualizing payments for ecosystem services in blue forests on carbon and other marine and coastal ecosystem services*. Ocean Coast Manag. 2013;83: 5–14. doi:10.1016/j.ocecoaman.2012.03.011
- [16] Otero M, Serena F, Gerovasileiou V, Barone M, Bo M, Arcos JM, et al. *Identification guide of vulnerable species incidentally caught in Mediterranean fishes*. IUCN, Malaga, Spain. 2019.

- [17] Rao NS, Ghermandi A, Portela R, Wang X. Global values of coastal ecosystem services: A spatial economic analysis of shoreline protection values. *Ecosyst Serv.* 2015;11: 95–105. doi:10.1016/j.ecoser.2014.11.011
- [18] Shepard CC, Crain CM, Beck MW. *The protective role of coastal marshes: A systematic review and meta-analysis.* PLoS One. 2011;6. doi:10.1371/journal.pone.0027374
- [19] Saderne V, Cusack M, Almahasheer H, Serrano O, Masqué P, Arias-Ortiz A, et al. *Accumulation of carbonates contributes to coastal vegetated ecosystems keeping pace with sea level rise in an arid region (Arabian Peninsula).* J Geophys Res Biogeosciences. 2018;123: 1498–1510. doi:10.1029/2017JG004288
- [20] Gouvêa LP, Assis J, Gurgel CFD, Serrão EA, Silveira TCL, Santos R, et al. *Golden carbon of Sargassum forests revealed as an opportunity for climate change mitigation.* Sci Total Environ. 2020;729: 138745. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138745
- [21] Mateo MA, Cebrián J, Dunton K, Mutchler T. *Carbon flux in seagrass ecosystems.* Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation. 2006. pp. 159–192. doi:10.1007/978-1-4020-2983-7\_7
- [22] Mateo MA, Díaz-Almela E, Piñeiro-Juncal N, Leiva-Dueñas C, Giral S, Marco-Méndez C. *Carbon stocks and fluxes associated to Andalusian seagrass meadows.* Blanes: LIFE Programme; 2018.
- [23] Serrano O, Lovelock CE, B. Atwood T, Macreadie PI, Canto R, Phinn S, et al. *Australian vegetated coastal ecosystems as global hotspots for climate change mitigation.* Nat Commun. 2019;10: 1–10. doi:10.1038/s41467-019-12176-8
- [24] McLeod E, Chmura GL, Bouillon S, Salm R, Björk M, Duarte CM, et al. *A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>.* Front Ecol Environ. 2011;9: 552–560. doi:10.1890/110004
- [25] Saderne V, Ghermandi NR, Macreadie PI, Maher DT, Middelburg JJ, Serrano O, et al. *Role of carbonate burial in Blue Carbon budgets.* Nat Commun. 2019;10. doi:10.1038/s41467-019-08842-6
- [26] Boudouresque CF, Crouzet A, Pergent G. *Un nouvel outil au service de l'étude des herbiers à Posidonia oceanica: la lepidochronologie.* Rapp Comm int Mer Médit. 1983. pp. 111–112.
- [27] Mateo MA, Romero J, Pérez M, Littler MM, Littler DS. *Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica.* Estuar Coast Shelf Sci. 1997;44: 103–110. doi:10.1006/ecss.1996.0116
- [28] Lavery PS, Mateo MÁ, Serrano O, Rozaimi M. *Variability in the carbon storage of seagrass habitats and its implications for global estimates of Blue Carbon ecosystem service.* PLoS One. 2013;8: 1–12. doi:10.1371/journal.pone.0073748
- [29] Duarte CM, Middelburg JJ, Caraco N. *Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle.* Biogeosciences. 2005;2: 1–8. doi:10.5194/bgd-1-659-2004
- [30] Lo Iacono C, Mateo MA, Gracia E, Guasch L, Carbonell R, Serrano L, et al. *Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): Implications for carbon sink estimates.* Geophys Res Lett. 2008;35: 1–5. doi:10.1029/2008GL034773
- [31] Crooks S, Herr D, Tamelander J, Laffoley D, Vandever J. *Mitigating climate change through restoration and management of coastal wetlands and near-shore marine ecosystems: Challenges and opportunities.* Environ Dep Pap. 2011;121: 1–69. Available: <http://www-wds.worldbank.org/external/default/>

WDSContentServer/WDSP/IB/2011/04/07/000333038\_20110407024117/  
Rendered/PDF/605780REPLACEM10of0Coastal0Wetlands.pdf

- [32] Diaz-Almela E, Piñeiro-Juncal N, Marco-Méndez C, Giralt S, Leiva-Dueñas C, Mateo MÁ. *Carbon stocks and fluxes associated to Andalusian saltmarshes and estimates of impact in stocks and fluxes by diverse land-use changes*. 2019.
- [33] Chmura GL, Anisfeld SC, Cahoon DR, Lynch JC. *Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils*. *Global Biogeochem Cycles*. 2003;17: n/a-n/a. doi:10.1029/2002GB001917
- [34] Alongi DM. *Carbon sequestration in mangrove forests*. *Carbon Management*. 2012. doi:10.4155/cmt.12.20
- [35] Gorham C, Lavery P, Kelleway JJ, Salinas C, Serrano O. *Soil Carbon Stocks Vary Across Geomorphic Settings in Australian Temperate Tidal Marsh Ecosystems*. *Ecosystems*. 2020. doi:10.1007/s10021-020-00520-9
- [36] Mazarrasa I, Samper-Villarreal J, Serrano O, Lavery PS, Lovelock CE, Marbà N, et al. *Habitat characteristics provide insights of carbon storage in seagrass meadows*. *Mar Pollut Bull*. 2018;134: 106–117. doi:10.1016/j.marpolbul.2018.01.059
- [37] Kauffman JB, Heider C, Norfolk J, Payton F. *Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic*. *Ecol Appl*. 2014;24: 518–527. doi:10.1890/13-0640.1
- [38] Fourqurean JW, Duarte CM, Kennedy H, Marbà N, Holmer M, Mateo MA, et al. *Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock*. *Nat Geosci*. 2012;5: 505–509. doi:10.1038/ngeo1477
- [39] Pergent G, Bazairi H, Bianchi CN, Boudouresque C-F, Buia MC, Clabaut P, et al. *Mediterranean seagrass meadows: resilience and contribution to climate change mitigation*. A short summary. 2012.
- [40] Luisetti T, Turner RK, Andrews JE, Jickells TD, Kröger S, Diesing M, et al. *Quantifying and valuing carbon flows and stores in coastal and shelf ecosystems in the UK*. *Ecosyst Serv*. 2019;35: 67–76. doi:10.1016/j.ecoser.2018.10.013
- [41] Gerakaris V, Lardi P, Ioli P, Issaris Y. *First record of the tropical seagrass species *Halophila decipiens* Ostenfeld in the Mediterranean Sea*. *Aquat Bot*. 2020;160: 103151. doi:10.1016/j.aquabot.2019.103151
- [42] Boudouresque CF, Bernard G, Pergent G, Shili A, Verlaque M. *Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: A critical review*. *Bot Mar*. 2009;52: 395–418. doi:10.1515/BOT.2009.057
- [43] Pergent-Martini C, Otero MM, Numa C. *A5.535 *Posidonia* beds in the Mediterranean infralittoral zone*. *European Red list of habitats*. 2016.
- [44] Diaz-Almela E, Otero M del M. *El cambio climático en el Mediterráneo: el Carbono Azul y las áreas marinas protegidas*. IUCN. MPA-Adapt Factsheet. IUCN. 2019. p. 4.
- [45] Apostolaki ET, Vizzini S, Santinelli V, Kaberi H, Andolina C, Papanathanassiou E. *Exotic *Halophila stipulacea* is an introduced carbon sink for the Eastern Mediterranean Sea*. *Sci Rep*. 2019;9: 1–13. doi:10.1038/s41598-019-45046-w
- [46] Röhr ME, Holmer M, Baum JK, Björk M, Chin D, Chalifour L, et al. *Blue Carbon storage capacity of temperate eelgrass (*Zostera marina*) meadows*. *Global Biogeochem Cycles*. 2018;32: 1457–1475. doi:10.1029/2018GB005941
- [47] Postlethwaite VR, McGowan AE, Kohfeld KE, Robinson CLK, Pellatt MG. *Low blue carbon storage in eelgrass (*Zostera marina*) meadows on the Pacific Coast of Canada*. *PLoS One*. 2018;13: 1–18. doi:10.1371/journal.pone.0198348

- [48] Bañolas G, Fernández S, Espino F, Haroun R, Tuya F. *Evaluation of carbon sinks by the seagrass *Cymodocea nodosa* at an oceanic island: Spatial variation and economic valuation*. *Ocean Coast Manag.* 2020;187. doi:10.1016/j.ocecoaman.2020.105112
- [49] Tamis JE, Foekema EM. *A review of blue carbon in the Netherlands*. 2015. Available: <http://edepot.wur.nl/362935>
- [50] Sifleet S, Pendleton L, Murray BC. *State of the science on coastal blue carbon. A summary for policy makers*. Nicholas Inst Environ Policy Solut. 2011. Available: <http://scholar.google.com/holar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:State+of+-the+Science+on+Coastal+Blue+Carbon+A+Summary+for+Policy+Makers#0>
- [51] Janssen J. A2.5c *Atlantic coastal salt marsh*. *European Red list of habitats*. 2016. pp. 1–9.
- [52] Tzonev R. A2.5d *Mediterranean and Black Sea coastal salt marsh*. *European Red list of habitats*. 2016. pp. 1–9.
- [53] Ouyang X, Lee SY. *Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments*. *Biogeosciences*. 2014;11: 5057–5071. doi:10.5194/bg-11-5057-2014
- [54] Friedlingstein P, Andrew RM, Rogelj J, Peters GP, Canadell JG, Knutti R, et al. *Persistent growth of CO<sub>2</sub> emissions and implications for reaching climate targets*. *Nat Geosci*. 2014;7: 709–715. doi:10.1038/NGEO2248
- [55] Janssen JAM, Rodwell JS, García Criado M, Gubbay S, Haynes T, Nieto A, et al. *European red list of habitats. Part 2. Terrestrial and freshwater habitats*. *Eur Comm*. 2017. doi:10.2779/091372
- [56] Maes J, Teller A, Erhard M, Conde S, Vallecillo Rodriguez S, Barredo Cano JI, et al. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An EU ecosystem assessment*. 2020.
- [57] Allen JRL. *Holocene coastal lowlands in NW Europe: Autocompaction and the uncertain ground*. *Geol Soc Spec Publ*. 2000;175: 239–252. doi:10.1144/GSL.SP.2000.175.01.18
- [58] Herr D, Landis E. *Coastal Blue Carbon ecosystems. Opportunities for Nationally Determined Contributions*. Policy brief. *Conserv Int*. 2016.
- [59] Gallo ND, Victor DG, Levin LA. *Ocean commitments under the Paris Agreement*. *Nat Clim Chang*. 2017;7: 833–838. doi:10.1038/nclimate3422
- [60] Bindoff, N.L., W.W.L. Cheung, J.G. Kairo, J. Aristegui, V.A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M.S. Karim, L. Levin, S. O'Donoghue, S.R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson, 2019: *Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities*. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- [61] Benson L, Glass L, Jones TG, Ravaoarinorotsihoarana L, Rakotomahazo C. *Mangrove carbon stocks and ecosystem cover dynamics in southwest Madagascar and the implications for local management*. *Forests*. 2017;8. doi:10.3390/f8060190
- [62] Huxham M, Kairo JG, Skov MW. *Mangroves of Kenya: The effects of species richness on growth and ecosystem functions of restored East African Mangrove stands*. 2006.
- [63] Kirue B, Kairo JG, Karachi M. *Allometric Equations for Estimating Above Ground Biomass of *Rhizophora mucronata* Lamk. (Rhizophoraceae) Mangroves at Gaxi Bay, Kenya*. *West Indian Ocean J Mar Sci*. 2007;5. doi:10.4314/wiojms.v5i1.28496

- [64] Tamooch F, Huxham M, Karachi M, Mencuccini M, Kairo JG, Kirui B. *Below-ground root yield and distribution in natural and replanted mangrove forests at Gazi bay, Kenya*. For Ecol Manage. 2008;256: 1290–1297.
- [65] Howard J, Hoyt S, Isensee K, Pidgeon E, Telszewski M. *Coastal Blue Carbon methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Nature IU for C of, editors. Habitat Conservation. 2014. Available: <http://www.habitat.noaa.gov/coastalbluecarbon.html>
- [66] Blum M, Lövbrand E. *The return of carbon offsetting? The discursive legitimation of new market arrangements in the Paris climate regime*. Earth Syst Gov. 2019;2. doi:10.1016/j.esg.2019.100028
- [67] Pearson TRH. *Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon*. US Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station; 2007.
- [68] Rahmawati S, Hernawan UE, McMahon K, Prayudha B, Prayitno HB, A'an JW, et al. *Blue Carbon in seagrass ecosystems: Guideline for the Assessment of Carbon Stock and Sequestration in Southeast Asia*. UGM PRESS; 2019.
- [69] Celebi B, Gucu A, Sakinan S, Akoglu E. *Hydrographic indications to understand the absence of Posidonia oceanica in the Levant Sea (Eastern Mediterranean)*. Biol Mar Mediterr. 2006;13: 34–38.
- [70] Mazarrasa I, Marbà N, Garcia-Orellana J, Masqué P, Arias-Ortiz A, Duarte CM. *Effect of environmental factors (wave exposure and depth) and anthropogenic pressure in the C sink capacity of Posidonia oceanica meadows*. Limnol Oceanogr. 2017;62: 1436–1450. doi:10.1002/lno.10510
- [71] Díaz-Almela E. *Diseño y técnicas de muestreo para cuantificar el carbono azul*. In: IUCN, editor. Blue Carbon Workshop. 2018.
- [72] Marco-Méndez C. *Sampling design and techniques*. In: GAME Sizing blue carbon. Blanes; 2019.
- [73] Al-Haj AN, Fulweiler RW. *A synthesis of methane emissions from shallow vegetated coastal ecosystems*. Glob Chang Biol. 2020;2017: 1–18. doi:10.1111/gcb.15046
- [74] Abdul-Aziz OI, Ishtiaq KS, Tang J, Moseman-Valtierra S, Kroeger KD, Gonneea ME, et al. *Environmental controls, emergent scaling, and predictions of greenhouse gas (GEI) fluxes in coastal salt marshes*. J Geophys Res Biogeosciences. 2018;123: 2234–2256. doi:10.1029/2018JG004556
- [75] Lovelock CE, Megonigal P, Saintilan N, Megonigal JP, Saintilan N, Howard J, et al. *How to estimate carbon dioxide emissions*. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal marshes, and seagrass meadows. 2014. pp. 109–122.
- [76] Goslee K, Walker SM, Grais A, Murray L, Casarim F, Brown S. *Module C-CS: Calculations for estimating carbon stocks*. Leaf Tech Guid Ser Dev a For carbon Monit Syst REDD+. 2016.
- [77] Young MA, Macreadie PI, Duncan C, Carnell PE, Nicholson E, Serrano O, et al. *Optimal soil carbon sampling designs to achieve cost-effectiveness: A case study in blue carbon ecosystems*. Biol Lett. 2018;14. doi:10.1098/rsbl.2018.0416
- [78] Fourqurean JW, Willsie A, Rose CD, Rutten LM. *Spatial and temporal pattern in seagrass community composition and productivity in south Florida*. Mar Biol. 2001;138: 341–354. doi:10.1007/s002270000448

- [79] Fourqurean JW, Johnson B, Kauffman JB, Kennedy H, Lovelock CE. *Field sampling of carbon pools in coastal ecosystems. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal marshes, and seagrass meadows.* 2014. pp. 39–66.
- [80] Monnier B, Pergent G, Mateo M-Á, Clabaut P, Pergent-Martini C. *Seismic interval velocity in the mat of Posidonia oceanica meadows: towards a non-destructive approach for large-scale assessment of blue carbon stock.* Mar Environ Res. 2020;submitted.
- [81] Dat Pham T, Xia J, Thang Ha N, Tien Bui D, Nhu Le N, Tekeuchi W. *A review of remote sensing approaches for monitoring blue carbon ecosystems: Mangroves, sea grasses and salt marshes during 2010–2018.* Sensors. 2019;19. doi:10.3390/s19081933
- [82] Rahman AF, Simard M. *Remote sensing and mapping. Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal marshes, and seagrass meadows.* 2014. pp. 123–144.
- [83] Short F, Hessing-Lewis M, Prentice C, Sanders-Smith R, Gaeckle J, Helms A. *Seagrass sediment sampling protocol and field study: British Columbia, Washington and Oregon.* 2017.
- [84] Callaway JC, Cahoon DR, Lynch JC. *The surface elevation table-marker horizon method for measuring wetland accretion and elevation dynamics.* In: DeLaune RD, Reddy KR, Richardson CJ, Megonigal JP, editors. *Methods in Biogeochemistry of Wetlands.* 2015. pp. 901–917. doi:10.2136/sssabookser10.c46
- [85] Villa JA, Bernal B. *Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework.* Ecol Eng. 2017;114: 115–128. doi:10.1016/j.ecoleng.2017.06.037
- [86] Morton RA, White WA. *Characteristics of and corrections for core shortening in unconsolidated sediments.* J Coast Res. 1997;13: 761–769.
- [87] Craft CB, Seneca ED, Broome SW. *Loss on ignition and kjeldahl digestion for estimating organic carbon and total nitrogen in estuarine marsh soils: Calibration with dry combustion.* Estuaries. 1991;14: 175–179. doi:10.2307/1351691
- [88] Belshe EF, Sanjuan J, Leiva-Dueñas C, Piñeiro-Juncal N, Serrano O, Lavery PS, et al. *Modeling organic carbon accumulation rates and residence times in coastal vegetated ecosystems.* J Geophys Res Biogeosciences. 2019;124: 3652–3671. doi:10.1029/2019jg005233
- [89] Interagency Workgroup on Wetland Restoration. *An introduction and user's guide to wetland restoration, creation, and enhancement.* National Oceanic and Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency, Army Corps of Engineers, Fish and Wildlife Service, and Natural Resources Conservation Service; Administration, Environmental Protection Agency and NRCS, editor. 2003.
- [90] Tan YM, Dalby O, Kendrick GA, Statton J, Sinclair EA, Fraser MW, et al. *Seagrass restoration is possible: Insights and lessons from Australia and New Zealand.* Front Mar Sci. 2020;7. doi:10.3389/fmars.2020.00617
- [91] Campbell ML. *Getting the foundation right: A scientifically based management framework to aid in the planning and implementation of seagrass transplant efforts.* Bull Mar Sci. 2002;71: 1405–1414.
- [92] Niedowski NL. *New York State salt marsh restoration and monitoring guidelines.* New York. 2000.

- [93] van Katwijk MM, Thorhaug A, Marbà N, Orth RJ, Duarte CM, Kendrick GA, et al. *Global analysis of seagrass restoration: The importance of large-scale planting*. J Appl Ecol. 2016;53: 567–578. doi:10.1111/1365-2664.12562
- [94] Wolters M, Garbutt A, Bakker JP. *Salt-marsh restoration: Evaluating the success of de-embankments in north-west Europe*. Biol Conserv. 2005;123: 249–268. doi:10.1016/j.biocon.2004.11.013
- [95] Jacob C, Buffard A, Pioch S, Thorin S. *Marine ecosystem restoration and biodiversity offset*. Ecol Eng. 2018;120: 585–594. doi:10.1016/j.ecoleng.2017.09.007
- [96] Les DH, Cleland MA, Waycott M. *Phylogenetic Studies in Alismatidae, II: Evolution of Marine Angiosperms (Seagrasses) and Hydrophily*. Syst Bot. 1997;22: 443–463.
- [97] Kilminster K, McMahon K, Waycott M, Kendrick GA, Scanes P, McKenzie L, et al. *Unravelling complexity in seagrass systems for management: Australia as a microcosm*. Sci Total Environ. 2015;534: 97–109. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.04.061
- [98] Grupo Red eléctrica. *Guía Práctica. El plantado de Posidonia oceanica. Técnica desarrollada en el proyecto 'Uso de semillas y fragmentos de Posidonia oceanica en la restauración de zonas afectadas por la actividad de Red Eléctrica de España*. Red Eléctrica Española. 2018.
- [99] Grupo Red eléctrica. *El Bosque Marino de Red Eléctrica confirma una supervivencia de la posidonia plantada superior al 90 %*. Nota de prensa. 2020. Available: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2020/10/el-bosque-marino-de-red-electrica-confirma-una-supervivencia-de-la-posidonia-plantada-superior-al-90-por-ciento>
- [100] Kendrick GA, Waycott M, Carruthers TJB, Cambridge ML, Hovey R, Krauss SL, et al. *The central role of dispersal in the maintenance and persistence of seagrass populations*. Bioscience. 2012;62: 56–65. doi:10.1525/bio.2012.62.1.10
- [101] Busch KE, Golden RR, Parham TA, Karrh LP, Lewandowski MJ, Naylor MD. *Large-scale Zostera marina (eelgrass) restoration in Chesapeake Bay, Maryland, USA. Part I: A comparison of techniques and associated costs*. Restor Ecol. 2010;18: 490–500. doi:10.1111/j.1526-100X.2010.00690.x
- [102] Pickerell CH, Schott S, Wyllie-Echeverria S. *Buoy-deployed seeding: Demonstration of a new eelgrass (Zostera marina L.) planting method*. Ecol Eng. 2005;25: 127–136. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.03.005
- [103] Broome SW, Seneca ED, Woodhouse WW. *Tidal salt marsh restoration*. Aquat Bot. 1988;32. doi:10.1016/0304-3770(88)90085-X
- [104] Prahallad V. *Tidal Marsh Restoration. A Synthesis of Science and Management* Charles T. Roman and David M. Burdick, Island Press, Washington, DC, 2012, xvii + 406 pp. ISBN: 9781597265768. Ecol Manag Restor. 2015;16. doi:10.1111/emr.12164
- [105] Elschot K, JP B, Temmerman S, J van de K. *Ecosystem engineering by large grazers enhances carbon stocks in a tidal salt marsh*. Mar Ecol Prog Ser. 2015;537: 9–21. Available: <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v537/p9-21/>
- [106] Duggan-Edwards et al., 2019. *External conditions drive optimal planting configurations for salt marsh restoration*. J. Applied Ecology, Vol. 57, Is. 3, 619–629.
- [107] Temmink RJMet al., *Mimicry of emergent traits amplifies coastal restoration success*. Nat Commun. 2020 Jul 22;11(1):3668. doi: 10.1038/s41467-020-17438-4. PMID: 32699271; PMCID: PMC7376209.
- [108] Kendrick GA, Waycott M, Carruthers TJB, Cambridge ML and others (2012) *The central role of dispersal in the maintenance and persistence of seagrass populations*. Bioscience 62: 56–65

- [109] Oreska, M.P.J., McGlathery, K.J., Aoki, L.R. et al. *The greenhouse gas offset potential from seagrass restoration*. Sci Rep 10, 7325 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64094-1>
- [110] Lovelock, C., Fourqurean, J., Morris, J. 2017. *Modelled CO<sub>2</sub> Emissions from Coastal Wetland Transitions to Other Land Uses: Tidal Marshes, Mangrove Forests, and Seagrass Beds*. Front. Mar. Sci., 15 May 2017. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00143>
- [111] Muñoz-Rojas, M., De la Rosa, D., Zavala, L. M., Jordán, A., & Anaya-Romero, M. (2011). *Changes in land cover and vegetation carbon stocks in Andalusia, Southern Spain (1956–2007)*. Science of the total Environment, 409(14), 2796-2806.
- [112] Pergent-Martini, Ch., Pergent, G., Monnier, B., Boudouresque, Ch. F., Moris, C., Valette-Sansevin, A., 2021. *Contribution of Posidonia oceanica meadows in the context of climate change mitigation in the Mediterranean Sea*. Marine Environmental Research 165, 105236.
- [113] Pendleton, L., Donato, D.C., Murray, B.C., Crooks, S., Jenkins, W.A., et al. (2012) *Estimating Global “Blue Carbon” Emissions from Conversion and Degradation of Vegetated Coastal Ecosystems*. PLoS ONE 7(9): e43542. doi:10.1371/journal.pone.0043542
- [114] A.A.V.V., LIFE PROJECT - SEPOSSO (Action B2) 2019. *Final report on Posidonia oceanica transplanting case studies analysis*.
- [115] Wesselmann, M., Geraldi, N.R., Duarte, C.M., Garcia-Orellana, J., Díaz-Rúa, R., Arias-Ortiz, A., Hendriks, I.E., Apostolaki, E.T. and Marbà, N. (2021), *Seagrass (Halophila stipulacea) invasion enhances carbon sequestration in the Mediterranean Sea*. Glob Change Biol. <https://doi.org/10.1111/gcb.15589>



La UICN trabaja con muy diversos socios y miembros en la gestión sostenible de las costas de todo el mundo. A continuación, se mencionan algunas de las iniciativas clave que han contribuido a fomentar la acción internacional en materia de carbono azul:

La iniciativa **The Blue Carbon Initiative (BCI)** es un análisis pionero en materia de técnicas y gobernanza que permite informar un desarrollo adecuado de metodologías y políticas.



La **Asociación Internacional de Carbono Azul (IPBC)**, por sus siglas en inglés) reúne gobiernos y partes interesadas para compartir lecciones aprendidas sobre la cuantificación de carbono a nivel nacional y el aprovechamiento de la implementación de proyectos.



El **Mecanismo de financiación de capital de Blue Natura (BNCFF)**, por sus siglas en inglés) trabaja con desarrolladores de proyectos, empresas e inversores para sacar adelante proyectos rentables de carbono azul con impactos más notables sobre el clima y la conservación.



La iniciativa **Save our mangroves now! (SOMN!)** realiza evaluaciones de carbono e insta a la concienciación y a la acción política para conservar los manglares.



La iniciativa **Blue Solutions Initiative** establece y desarrolla una plataforma global para recopilar, compartir y generar conocimientos, y también para generar capacidades de gestión sostenible y gobernanza equitativa para nuestro planeta, incluyendo medidas y proyectos de adaptación y mitigación climática.





**UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA  
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA**

**UICN CENTRO DE COOPERACIÓN  
DEL MEDITERRÁNEO**  
Calle Marie Curie, 22  
29590 Campanillas  
Málaga, España  
Tel.: +34 952 028430  
Fax.: +34 952 028145  
Email: [uicnmed@iucn.org](mailto:uicnmed@iucn.org)

[www.iucn.org/resources/publications](http://www.iucn.org/resources/publications)  
[www.iucn.org/mediterranean](http://www.iucn.org/mediterranean)

 IUCNMed  
 IUCN\_Med

