

GUÍAS DE BUENAS PRÁCTICAS CIENTÍFICAS
PARA PROYECTOS DE CARBONO TERRESTRE

Carbono azul



Agosto de 2024

Stefanie Simpson y Lindsey Smart

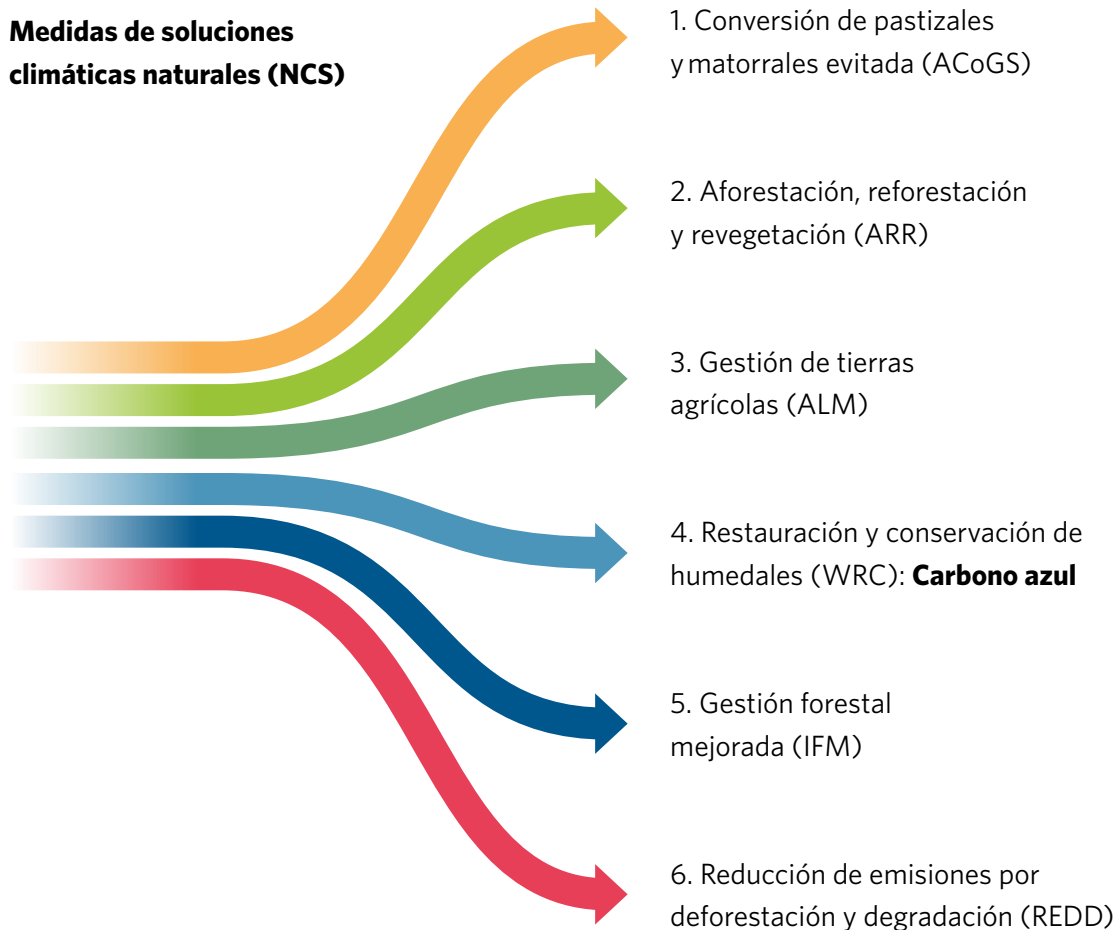
The Nature
Conservancy 

Los métodos de contabilidad de carbono que se centran en las mejores prácticas científicas son la columna vertebral de todos los enfoques rigurosos en cuanto a la acreditación de carbono. Sin embargo, aunque décadas de ciencia han incrementado notablemente la calidad de los créditos de carbono hasta el día de hoy, la contabilidad de los proyectos sigue evolucionando y mejorando gracias a la investigación.

Las Guías de mejores prácticas científicas son una serie de documentos explicativos sobre las mejores prácticas científicas y las brechas de información que existen actualmente en los proyectos de carbono, elaboradas sobre la base de seis vías emergentes de soluciones climáticas naturales (NCS, por sus siglas en inglés):

Esta Guía ofrece una visión general de cómo los proyectos de **carbono azul** de alta calidad aplican los últimos avances científicos y herramientas con el fin de crear proyectos con una gran integridad en cuanto a la definición de líneas base, la medición y cuantificación de la reducción y eliminación de emisiones, la estimación de la incertidumbre, y el monitoreo de las actividades y la permanencia del proyecto. Con este resumen, los compradores de créditos de carbono de alta calidad pueden evaluar mejor si los proyectos están utilizando herramientas y estrategias científicas rigurosas con eficacia. Si desea una guía más detallada sobre los proyectos de carbono azul de alta calidad, consulte el informe [High-Quality Blue Carbon Principles and Guidance: A triple-benefit investment for people, nature, and climate](#) (Principios y orientación sobre carbono azul de alta calidad: una inversión con beneficios triples para las personas, la naturaleza y el clima —en inglés—).

Medidas de soluciones climáticas naturales (NCS)



¿Qué son los proyectos de carbono azul?

Las actividades de los proyectos dependen del contexto específico del proyecto y de la metodología que se utilice, pero deben abordar la causa subyacente de la pérdida o degradación del hábitat. Las causas de la degradación de los humedales que podrían mitigarse con el apoyo del financiamiento del carbono incluyen el desarrollo costero, la acuicultura y la agricultura, la infraestructura costera (que provoca restricciones al movimiento de las mareas) y la disminución de la calidad del agua. Los humedales degradados resultantes pueden correr un riesgo aún mayor debido al aumento del nivel del mar y la erosión. Las actividades de los proyectos de carbono azul pueden incluir lo siguiente:



Pérdida de hábitat evitada (por una amenaza identificada y cuantificable) debido a que se evita la conversión o degradación planificada o no planificada.



Restauración de la conectividad mareal (p. ej., mediante la eliminación de las barreras mareales, el restablecimiento del flujo mareal en zonas donde las mareas se encuentran restringidas, etc.)



Rehumectación de suelos orgánicos drenados (p. ej., a través de la mejora de la conectividad hidrológica, etc.)



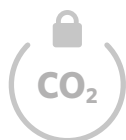
Restauración sedimentaria en humedales privados de sedimentos (p. ej., mediante el desvío de sedimentos fluviales, el uso benéfico de materiales de dragado, etc.)



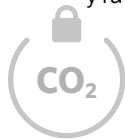
Mejora de la calidad del agua (p. ej., mediante la reducción de los aportes de nutrientes)



Vegetación replantada (p. ej., a través de la resiembra o replantación de comunidades de plantas nativas)



Emisiones de dióxido de carbono (CO₂) eliminadas de la atmósfera por las plantas y secuestradas como carbono orgánico en el suelo (COS).



Emisiones de CO₂ eliminadas de la atmósfera por las plantas y secuestradas en la biomasa viva aérea.



Emisiones de CO₂ eliminadas de la atmósfera por las plantas y secuestradas en la biomasa viva subterránea (p. ej., las raíces).



Reducción de las emisiones de óxido nitroso (N₂O) desde el suelo hacia la atmósfera.

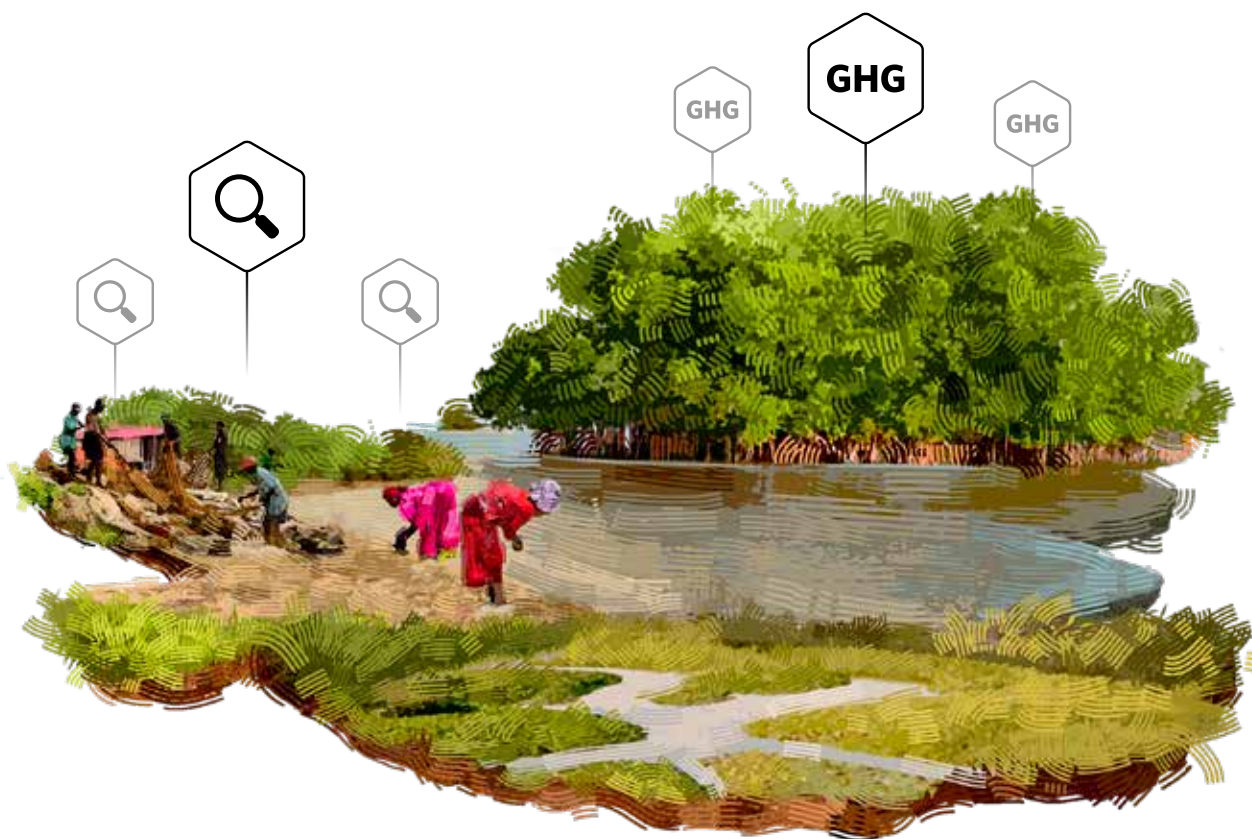


Reducción de las emisiones de metano (CH₄) desde el suelo hacia la atmósfera.

Estas actividades generan créditos principalmente por los cambios que producen en cinco reservorios de carbono y fuentes de gases de efecto invernadero (GEI):

Los proyectos de carbono azul generan créditos de carbono a través de la implementación de actividades de restauración o conservación (pérdida evitada) en hábitats de humedales costeros, incluidos **manglares, marismas salinas y sistemas de praderas marinas**. Aunque se están explorando otros hábitats (p. ej., los queijos), la ciencia actual y las metodologías aprobadas limitan el carbono azul a estos tres hábitats vegetados costeros (Howard et al. 2023). Lo que distingue al carbono azul de otras medidas es que se centra en el suelo como reservorio de carbono (aunque pueden incluirse otros reservorios en la contabilidad del proyecto). El carbono del suelo representa un reservorio de carbono más permanente (siempre que el hábitat permanezca intacto y sano) con respecto a los reservorios de carbono de la biomasa.

El paisaje costero es particularmente dinámico, lo que hace que los proyectos del mercado de carbono azul sean bastante difíciles de implementar. Como tal, el estado de la ciencia en cuanto a carbono azul está en constante evolución y debe reevaluarse de manera periódica. Un proyecto de carbono azul exitoso y de alta calidad equilibra el impacto medioambiental, el bienestar comunitario y el cumplimiento legal. Los proyectos no solo identifican y cuantifican las emisiones de todos los reservorios y fuentes que probablemente se vean afectados por las actividades del proyecto dentro de los límites de este, sino que también tienen en cuenta los beneficios y las necesidades de las comunidades. Los proyectos de alta calidad deben aprovechar lo mejor de la ciencia y las mejores prácticas disponibles para lograr cuatro tareas fundamentales:



1.

Monitoreo de la implementación de las actividades de restauración o conservación antes y después de la fecha de inicio del proyecto.

2.

Cuantificación de las reducciones de emisiones de GEI y las eliminaciones de acuerdo con la línea base y el escenario de proyecto.

3.

Interactuar de manera directa con las comunidades locales durante todo el diseño y la implementación del proyecto.

4.

Cuantificar otros servicios ecosistémicos, como la mejora de la biodiversidad, la calidad del agua, la resiliencia costera, etc.¹

Monitoreo de las actividades del proyecto



Los proyectos de carbono dan lugar a un cambio de comportamiento positivo para el clima que se impulsa o apoya en incentivos de mercado. Por lo tanto, es esencial supervisar las condiciones de un proyecto de carbono azul antes y después de que se implemente para garantizar que se haya producido un cambio en las prácticas y que el beneficio climático resultante se deba a ese cambio. Esta documentación es un componente esencial para demostrar la adicionalidad de un proyecto en relación con una línea base en la que las cosas se sigan haciendo como siempre.

Monitoreo previo al proyecto

DEMOSTRAR LA ADICIONALIDAD

Según el estándar VCS (Verified Carbon Estándar en inglés, Estándar verificado de Carbono) de Verra, el ritmo al que se están llevando a cabo los proyectos de restauración y protección del carbono azul en todo el mundo es tan bajo que la mayoría de los

proyectos cumplirán los requisitos de adicionalidad, siempre que asimismo cumplan con la prueba de superávit reglamentario (es decir, que las actividades del proyecto no estén obligadas ejecutarse por ninguna ley, estatuto u otro marco reglamentario en vigor). Sin embargo, también se recomienda que los proyectos demuestren la adicionalidad financiera (es decir, la forma en que el financiamiento de carbono resuelve las brechas presupuestarias del proyecto).

ASPECTOS LEGALES

Los paisajes costeros pueden estar sujetos a distintas formas de propiedad de la tierra, lo que afecta a la extensión de la zona de acreditación. Por ejemplo, las zonas intermareales pueden ser propiedad de varias entidades o estar gestionadas por varias de ellas y, a medida que suba el nivel del mar, estos límites pueden cambiar con la sumersión de tierra. Incluso en los casos en los que la propiedad de la tierra está clara, los gobiernos pueden reclamar los derechos sobre el carbono como un recurso nacional. **Los proponentes de los proyectos tendrán que demostrar claramente sus derechos para desarrollarlos y establecer a quién pertenecerán los créditos generados.**

ESTABLECIMIENTO DE LA LINEA BASE

Los créditos de los proyectos de alta calidad se cuantifican como el impacto neto de las actividades del proyecto en las emisiones de GEI en relación con una línea base contrafáctica en la que el proyecto no se hubiera implementado. **En los proyectos de carbono azul, la línea base más creíble suele ser la continuación del uso histórico de la tierra en los 10 años precedentes a la fecha de inicio del proyecto.** Por ejemplo, si un proyecto pretende incentivar la restauración del flujo de las mareas en un humedal embalsado, la línea base debería representar que el embalse del humedal continúe, así como sus emisiones de GEI asociadas sin la reintroducción del flujo mareal. Por lo tanto, se necesitan datos detallados sobre las actividades del proyecto, tanto de los años anteriores al proyecto como de toda la duración del propio proyecto.

Los paisajes costeros son dinámicos y pueden correr el riesgo de sufrir impactos climáticos adicionales que deben tenerse en cuenta en el momento de planificar un proyecto. **Los proyectos deben tener en cuenta los posibles riesgos para la integridad de la actividad de conservación o restauración que surgen del cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos (p. ej., el aumento del nivel del mar y los huracanes).**

La información necesaria para satisfacer todos estos requisitos legales y de supervisión incluye la siguiente:

- **Delimitación de la zona del proyecto:** Coordenadas GPS, datos de teledetección o registros legales de parcelas de la zona en la que están previstas las actividades del proyecto.
- **Factores de emisiones y tasas de secuestro:** Datos precisos sobre los factores de emisión (la tasa a la que se liberan los GEI) y las tasas de secuestro (la tasa a la que se eliminan los GEI de la atmósfera).
- **Factores de gestión de la tierra:** Información detallada sobre el uso de la tierra y las actividades

de gestión antes y después de la implementación del proyecto.

- **Respuesta al aumento del nivel del mar:** Proyecciones de los efectos del aumento del nivel del mar en el lugar del proyecto, lo que incluye cómo el proyecto hará el monitoreo de los cambios en la distribución y elevación de los humedales a lo largo del tiempo.
- **Permanencia:** Los beneficios del secuestro de carbono deben protegerse durante al menos 40 años (nótese que algunos estándares, p. ej., Verra, exigen 100 años) o tener en cuenta las reversiones subsiguientes. Los proyectos de alta calidad incluyen estrategias para abordar los riesgos (p. ej., aumento del nivel del mar o catástrofes naturales).
- **Fugas:** Los proyectos deben contabilizar las emisiones causadas fuera de la zona del proyecto como consecuencia de las actividades de este. En los proyectos que utilizan la metodología VCS VM0033, se considera que no hay fugas si se cumplen las condiciones de aplicabilidad de la metodología.
- **Propiedad inequívoca:** La entidad que registra el proyecto de carbono debe tener derechos de propiedad claros sobre los créditos de carbono.
 - En los proyectos dirigidos por el gobierno, los organismos o agencias gubernamentales de gestión de la tierra deben poder demostrar su autoridad estatutaria para participar en proyectos de carbono azul. Habitualmente, esta autoridad permite la colaboración con los financiadores de la restauración, los proveedores de servicios y otras partes interesadas.
 - En algunas geografías, puede haber varios grupos de partes interesadas con distintos derechos de acceso y uso de la tierra. Los datos del relevamiento de las partes interesadas son importantes para determinar quién se vería afectado por las actividades del proyecto, tanto de manera positiva como negativa.
 - Cuando la tierra sea de propiedad privada, los proponentes del proyecto deben evaluar las políticas locales y nacionales para determinar si puede haber una reclamación gubernamental sobre el carbono o los derechos minerales.

Los proyectos de carbono de alta calidad deben utilizar los mismos métodos para cuantificar las emisiones y las eliminaciones tanto en la línea base de referencia como en el escenario de proyecto durante todo el período de acreditación del proyecto.

La línea base se debe evaluar cada 6 años (según exige Verra) y reflejar las emisiones y eliminaciones que se habrían producido durante los años del proyecto en caso de que este no se hubiera implementado. El uso de las mismas herramientas y métodos para cuantificar las emisiones y eliminaciones en cada situación garantiza una contabilidad del carbono coherente que mantiene la integridad de línea base, al tiempo que reduce la incertidumbre en los créditos generados por el proyecto (Zhou et al. 2023).

IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Para delimitar una zona de proyecto adecuada, es fundamental comprender la dinámica local de la cubierta y el uso de la tierra. Los datos obtenidos por teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) sirven como herramientas rentables para (1) cartografiar la extensión y el cambio del hábitat (p. ej., estimar las tasas de pérdida), (2) identificar riesgos o amenazas y (3) cuantificar las reservas de carbono). Mediante la combinación de bandas espectrales, índices de vegetación derivados de imágenes por satélite y modelos digitales de elevación, los ecosistemas costeros pueden clasificarse en varios puntos en el tiempo, lo que permite obtener mapas de referencia de la extensión y del cambio a lo largo del tiempo.

Además de las bandas espectrales y los índices de vegetación, las métricas de textura derivadas de los datos de radar y otras métricas estructurales tridimensionales que surgen a partir de los datos LiDAR (Light Detection and Ranging) también pueden utilizarse para fundamentar la clasificación, pero también para predecir la biomasa aérea

(y posteriormente el carbono aéreo) en algunos casos, dada la fuerte relación entre la estructura del dosel y la biomasa en los sistemas con manglares. Además, pueden utilizarse medidas repetidas de estos atributos texturales y estructurales, junto con los índices de vegetación para hacer seguimiento de la salud y el estado del ecosistema (p. ej., la degradación) a lo largo del tiempo y destacar las zonas que deben restaurarse.

Algunos ecosistemas de carbono azul son más fáciles de cartografiar y controlar con técnicas de teledetección que otros. Por ejemplo, los manglares tienen características espectrales únicas que se prestan a la identificación mediante datos de observación terrestre. También secuestran y almacenan una cantidad significativa de carbono aéreo en biomasa viva, la cual puede cartografiarse y supervisarse con teledetección. Las praderas marinas, al ser a menudo submareales, son más difíciles de supervisar mediante los datos de teledetección disponibles para el público debido a las limitaciones de la capacidad de las imágenes satelitales de penetrar a través de la columna de agua. De modo que es importante comprender los límites de aplicabilidad de la teledetección en estos diferentes sistemas. Las herramientas de teledetección también presentan incertidumbres inherentes, que en ocasiones conducen a una clasificación errónea de la cubierta del hábitat o los cambios en la cubierta. **Todos los proyectos de carbono de alta calidad que aprovechan los análisis de teledetección para cubrir la brecha de datos deben seguir protocolos adecuados con fines de identificar y reportar las incertidumbres a través de métodos de GC/CC, como las evaluaciones de precisión y otras métricas de desempeño.** Si se trabaja con los administradores de las tierras, estas incertidumbres se pueden abordar de forma sistemática, lo que mejora la precisión de los análisis gracias a la verificación en terreno y la consulta/validación de los expertos.



CONSEJOS PARA COMPRADORES

- Pregunte a quién pertenece la tierra, a quién pertenecen los créditos y cómo se determinó esto.
- Pregunte cómo se delimitó la zona del proyecto y qué métodos se utilizaron para garantizar que solo se incluyeran en ella las tierras en las que se implementarán las actividades del proyecto.
- Pida ver las imágenes históricas para verificar el uso del terreno del proyecto antes de su implementación.
- Pregunte cómo se midieron la degradación y la conversión del hábitat y pida ver un informe que documente la precisión y las incertidumbres de los métodos (si se utilizaron datos de teledetección, esto se hace generalmente en forma de informe de evaluación de la precisión).
- Pregunte cómo se identificó la causa subyacente de la degradación y cómo se la abordará de manera directa con las actividades del proyecto.
- Pregunte si y de qué manera afectará el aumento del nivel del mar la zona del proyecto, las actividades del proyecto y las futuras emisiones de GEI. Pregunte si estos impactos se tuvieron en cuenta en la línea base y el escenario de proyecto.
- Pregunte qué métodos se utilizaron para cuantificar las emisiones y eliminaciones en la línea base y del escenario de proyecto.
- Pregunte cómo se hará el monitoreo de las actividades del proyecto a lo largo del tiempo (es decir, antes, durante y después del proyecto).
 - Si se utilizan métodos de teledetección o modelado, pida documentación sobre los métodos y sus precisiones (tasas de falsos positivos y falsos negativos).
 - Pregunte si existe un plan de validación sobre el terreno para corroborar los métodos aplicados y pregunte si se involucrará a las partes interesadas para que aporten comentarios que fundamenten los resultados.

Cuantificación de las reducciones y eliminaciones de emisiones



Cuantificación de los reservorios de carbono y las fuentes de GEI

Un elemento central de todos los proyectos de carbono es la cuantificación precisa de las reducciones y eliminaciones netas de emisiones de GEI que logra un proyecto, al tiempo que contabiliza de forma conservadora la incertidumbre presente en esa cifra. Este valor para todo el proyecto es la suma del impacto del proyecto en todos los reservorios de carbono y fuentes de GEI identificadas en la delimitación de GEI del proyecto. Los diferentes reservorios de carbono y fuentes de GEI suelen requerir diferentes métodos de cuantificación para estimar con precisión los resultados de un proyecto. Los distintos métodos de cuantificación incluyen diferentes tipos de incertidumbre.

Los proyectos de carbono de alta calidad describen con transparencia tanto los métodos de cuantificación como los tipos de incertidumbre contabilizados en todos los reservorios de carbono y fuentes de GEI acreditadas.

La disponibilidad de datos existentes sobre emisiones y secuestro de carbono azul puede ser limitada en muchas geografías, y recopilar estos datos puede ser difícil y costoso de producir. Para aliviar esta carga, la actual metodología de restauración de humedales costeros (VM0033) de Verra (en proceso de actualización hasta la fecha de la publicación) permite a los desarrolladores de proyectos utilizar algunos valores predeterminados², dependiendo del sistema y el reservorio/la fuente de GEI (Tabla 1). Cuando no se dispone de valores locales, estos valores predeterminados representan los mejores datos disponibles para los proyectos de carbono azul. Sin embargo, los proyectos que invierten en datos de campo locales mejoran aún más la precisión y disminuyen la incertidumbre del volumen de crédito estimado.

Tabla 1: Enfoques de cuantificación de los reservorios y las fuentes de GEI del carbono azul con la metodología VM0033.

Reservorio/Fuente de GEI	Predeterminado	Indicador indirecto	Publicado/Modelado	Medida directa
Tasa de secuestro de C de la biomasa herbácea	3 t/ha, escaladas al 100 % de cobertura, por única vez	No	No	Métodos de biología de campo
Reservorio de C de la biomasa leñosa	No	No	No	Métodos de inventario forestal
Tasa de secuestro de C del suelo	1,46 t/ha/año si hay al menos el 50 % de cobertura* Deducción por C alóct. ³ si no es suelo orgánico	Sistemas iguales o similares	Sistemas iguales o similares	Muestras de suelo con plano de referencia
Tasa de emisión de CH ₄ del suelo	>18 ppt** = 0,011 t/ha/año >20 ppt** = 0,005 t/ha/año			Cámara cerrada o covarianza de remolinos
Tasa de emisión de N ₂ O del suelo	Varía según la salinidad y el sistema			

*El valor predeterminado de C del suelo (Chmura et al. 2003) solo puede utilizarse en ausencia de valores publicados.

**El valor predeterminado de CH₄ del suelo (Poffenbarger et al. 2011) solo puede utilizarse en ausencia de valores publicados.

Las consideraciones clave en torno al uso de enfoques de cuantificación del carbono azul incluyen:

1. **Los factores predeterminados de emisión podrán utilizarse cuando sean científicamente creíbles y no existan datos publicados relevantes a nivel local.**

Los valores predeterminados permitidos incluyen los datos publicados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para su uso en los inventarios nacionales de GEI (nivel 1), los datos específicos de cada país para los factores clave (nivel 2) o los datos sobre reservas de carbono y tasas de emisión de un inventario detallado a partir de mediciones repetidas a lo largo del tiempo o de la modelización (nivel 3). Los datos de los niveles 1 o 2 pueden ir acompañados de grandes márgenes de error, por ejemplo +/-50 % para los reservorios por encima del suelo y +/-90 % para los reservorios variables de carbono del suelo; sin embargo, estos valores predeterminados se consideran conservadores y, por lo tanto, están permitidos a menos que se disponga de datos obtenidos a un nivel más local.

2. A veces se utilizan indicadores indirectos para estimar las emisiones de GEI; sin embargo, estos no están bien desarrollados para los sistemas de carbono azul. Un indicador indirecto que se suele utilizar es medir la salinidad con el fin de estimar el metano, con base en Poffenbarger et al. 2011, que sugiere que para los humedales con salinidades superiores a 18 ppt, las emisiones de metano son insignificantes. Sin embar-

go, una nueva investigación (actualmente en fase de publicación, prevista para 2024) sugiere que este rango es más variable. **Los indicadores indirectos se deben utilizar con precaución.**

3. Los **valores publicados** pueden utilizarse para la tasa media de emisiones de GEI y pueden ser un enfoque válido, siempre que surjan de datos publicados con revisión por pares y los datos **procedan del "mismo" sistema o uno "similar al" de la zona del proyecto.**

4. Los modelos son otra opción para estimar las emisiones de GEI; sin embargo, muchos de los modelos actuales aún no están adecuadamente desarrollados ni probados para el carbono azul. Para utilizarse, el modelo debe validarse con mediciones directas provenientes de un sistema con la misma o similar profundidad del nivel freático, salinidad, hidrología de mareas, aporte de sedimentos y comunidad vegetal que el sistema del proyecto. **Todas las posibles fuentes de incertidumbre del modelo deben evaluarse mediante enfoques estadísticos reconocidos, como los descritos en las Directrices del IPCC de 2006.**

5. Los datos recopilados en campo incluyen tasas de emisión de GEI medidas directamente o cambios en las reservas de carbono a través de muestreos en campo. **Con el fin de lograr una contabilidad sólida del carbono azul mediante el muestreo en campo, se debe utilizar la estratificación para subdividir la zona del proyecto en estratos espacialmente explícitos que sean similares.** Por ejemplo, los estratos pueden elegirse en función del

tipo y la profundidad del suelo, la profundidad del nivel freático, la cubierta vegetal, la salinidad, el tipo de terreno o los cambios previstos en las características mientras dure el proyecto. En el momento de medir, aumentar la cantidad de estratos mejorará la precisión de la contabilidad, ya que el área de muestreo será menor.

Dado que los flujos de GEI del carbono azul pueden variar, los datos recopilados en campo son los más fiables y precisos, y deben priorizarse siempre que sea posible.

Recopilación de datos sobre el carbono del suelo y los flujos de GEI

CARBONO DEL SUELO

Las reservas de SOC (por sus siglas en inglés, la densidad de carbono orgánico en el suelo) deben medirse siempre tanto al inicio de un proyecto como periódicamente (al menos cada 5 años) mientras dure el proyecto. La medición inicial representa el punto de partida compartido para las líneas base y los escenarios de proyecto, que divergen de la reserva inicial de SOC una vez que comienza el proyecto. Con el fin de determinar el SOC, se recolectan muestras de suelo y se analizan para determinar 1) la profundidad del suelo, 2) la densidad aparente seca y 3) el contenido de carbono orgánico del suelo (%Corg). La

densidad aparente seca multiplicada por el contenido de carbono orgánico del suelo da como resultado la reserva de carbono en unidades de masa por volumen.

Como ya se ha señalado, las reservas de SOC se deben medir utilizando un diseño de muestreo aleatorio estratificado. Este enfoque divide un área de proyecto en unidades pequeñas y homogéneas para reducir la variación medida en las reservas de SOC dentro de cada estrato. Se debe recolectar y analizar muestras de suelo para permitir el cálculo subsiguiente de las reservas de SOC y los cambios en las reservas de SOC. Se debe elegir la densidad de muestreo (la cantidad de muestras por unidad de superficie) dentro de cada estrato para equilibrar el intercambio entre los costos del muestreo y la reducción de los créditos por error de muestreo. La densidad de muestreo óptima dependerá de la geografía específica y de la variabilidad asociada en los atributos medioambientales dentro de esa geografía, así como de las actividades del proyecto que se acrediten.

La mejor práctica actual para obtener datos de SOC consiste en recolectar muestras físicas del suelo y enviarlas a un laboratorio de suelos acreditado para que las analice. Este proceso es largo y costoso y puede suponer un obstáculo económico en muchos proyectos, aunque los datos son cruciales para la integridad de los proyectos de carbono de alta calidad. Dado que los valores predeterminados y nacionales tienden a ser conservadores, los datos recopilados a nivel local no solo serán más precisos, sino que también pueden conducir a que se genere una mayor cantidad de créditos. Los compradores de créditos de carbono de alta calidad podrían considerar invertir en esfuerzos de investigación para reducir los costos de medición del SOC y aumentar el potencial de generación de créditos.

Tabla 2: Comparación de técnicas de laboratorio para determinar el porcentaje de carbono orgánico a partir de The Blue Carbon Manual (Howard et al. 2014).

	Método de combustión seca		Método de combustión húmeda
	Analizador elemental	Pérdida por ignición (LOI, por sus siglas en inglés)	Digestión con H2O2 y dicromato (método Walkley-Black)
Pros	Medida cuantitativa del contenido de carbono	Medida semicuantitativa del contenido de carbono orgánico; tecnología sencilla y de bajo costo	Medida semicuantitativa del contenido de carbono orgánico; bajo costo y química sencilla
Contras	Requiere instrumentación especial; puede ser costoso	Porcentaje de C orgánico determinado a partir de relaciones derivadas empíricamente entre el carbono y la materia orgánica	El H2O2 no siempre digiere el carbono por igual; produce residuos peligrosos.

Otro elemento importante para medir el secuestro de carbono es comprender el punto en el que comienza la acumulación de carbono debido a las actividades del proyecto. Algunas metodologías tienen requisitos estrictos sobre la instalación de horizontes marcadores como método principal para medir la acumulación de carbono en el suelo tras el inicio del proyecto. La perforación por sí sola no dirá cuánto material se ha acumulado debido al proyecto. Tiene que haber un elemento temporal involucrado, y los horizontes de marcado son el método más rentable.

BIOMASA AÉREA Y SUBTERRÁNEA

La biomasa viva aérea (AGB, por sus siglas en inglés) puede ser herbácea (predominante en marismas y praderas marinas) o leñosa (predominante en manglares), mientras que la biomasa viva subterránea (BGB, por sus siglas en inglés) está formada por raíces y rizomas. Los protocolos para medir el carbono de la biomasa pueden diferir según los tipos de hábitat y las densidades. En muchos casos, se pueden utilizar ecuaciones alométricas para describir la relación entre los parámetros medibles (p. ej., la altura, el diámetro a la altura del pecho, la densidad, la cubierta, etc.) y la biomasa total, y se suelen emplear para evitar prácticas de medición destructivas. **Las ecuaciones utilizadas deben proceder del mismo sistema o de uno similar, o de especies, si fuera posible, así como estar bien establecidas en la bibliografía (es decir, revisadas por pares).** A continuación, la biomasa de cada tipo de material vegetal se multiplica por el factor de conversión de carbono correspondiente para obtener la cantidad de reserva de carbono aérea. Un desafío a la hora de medir los reservorios de carbono en los hábitats de carbono azul puede ser la accesibilidad. Los bosques de manglares pueden ser especialmente difíciles de muestrear, ya que por lo general tienen abundantes raíces zancudas o neumatóforos, están rodeados de canales diseccionados y experimentan ciclos mareales.

En ocasiones, los manglares reciben un tratamiento similar al de los bosques terrestres en lo que respecta a la cuantificación de la biomasa; sin embargo, existen algunas diferencias clave que se deben tener en cuenta en la forma de evaluar la biomasa de los manglares.

Por ejemplo, cuando se toman muestras de árboles de manglar dentro de una parcela de muestreo, se recomienda medir todos los árboles vivos (en lugar de solo los árboles de 10 cm o más en las parcelas de bosque de tierras altas) o utilizar subparcelas en las zonas de muestreo en las que predominen los árboles más pequeños. En muchas geografías, las especies de mangle dominantes tienen una estructura aérea más baja, a menudo denominada mangle enano. La disponibilidad de ecuaciones alométricas apropiadas para su uso en sistemas de manglares enanos es mucho más limitada. Las pocas ecuaciones existentes para sistemas enanos proceden en su mayoría de Florida, EE. UU.; sin embargo, el enfoque más preciso consiste en desarrollar ecuaciones para las plantas de la zona de interés. Debido a la gran variabilidad entre las especies y las distintas geografías, el desarrollo de ecuaciones alométricas pertinente a nivel local es un área en la que se necesita mucha más investigación. Del mismo modo, para la BGB, las ecuaciones alométricas existentes que se pueden utilizar en manglares son limitadas, aunque el reservorio de carbono de la BGB puede ser un componente clave. Existen unas cuantas ecuaciones alométricas recogidas en la bibliografía y, aunque algunas son conservadoras, la realización de estudios adicionales que desarrollen ecuaciones más específicas para cada región sería una valiosa contribución al campo. Para obtener una estimación general de la biomasa subterránea, a menudo se utiliza la proporción entre la biomasa subterránea en relación con la aérea. Las proporciones predeterminadas de biomasa subterránea y aérea de los manglares oscilan entre 0,29 y 0,96 (Howard et al., 2014).

En el caso de las marismas mareales, es importante diferenciar entre hábitats de marisma alta, media y baja a la hora de diseñar un plan de muestreo. La mayor parte del carbono almacenado en las marismas mareales se encuentra en la biomasa subterránea y en los suelos, mientras que la biomasa aérea es más significativa en las marismas altas. Para la BGB, los reservorios de carbono pueden estimarse utilizando ecuaciones alométricas desarrolladas o mediciones directas. Las ecuaciones alométricas desarrolladas para una especie y un lugar en particular son el enfoque más preciso.

La AGB de las praderas marinas puede variar según la estación y, en algunos lugares, puede perderse por completo durante el invierno. Las praderas submareales requerirán equipos de esnórquel o submarinismo para tomar muestras, lo que puede requerir muchos recursos.

El momento del muestreo en los hábitats de carbono azul es importante, ya que los reservorios de carbono pueden variar en función de la estación, el contenido de humedad del suelo y la salinidad. **Es importante contar con un plan de muestreo bien pensado, que tenga en cuenta los horarios de las mareas, las posibles inundaciones, la accesibilidad a los lugares de muestreo, si las parcelas de muestreo serán temporales o permanentes y la extensión que puede necesitar la zona de muestreo para capturar una muestra representativa de plantas.** Se recomienda realizar el muestreo en la temporada alta de crecimiento de sistemáticamente de un año a otro, por lo general, a mediados o finales del verano.

En el Blue Carbon Manual (Howard et al. 2014) se proporciona orientación y detalles adicionales para recopilar datos de AGB y BGB en hábitats de carbono azul, incluido cómo determinar el contenido de carbono de palmeras y demás vegetación no arbórea, los neumatóforos y la hojarasca.

FLUJOS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los flujos de GEI son las emisiones netas absorbidas y emitidas de forma natural por la zona del proyecto, que en última instancia se tienen en cuenta en la cantidad de créditos generados. Las emisiones utilizadas para cuantificar el flujo pueden determinarse usando mediciones directas o mediante indicadores indirectos. Cuando se utilizan mediciones directas, el flujo de GEI se estima entre el suelo y la vegetación y la atmósfera/columna de agua utilizando mediciones precisas o modelado. Los flujos de GEI pueden medirse con precisión con torres de covarianza de remolinos o cámaras estáticas. Ambos enfoques tienen sus ventajas. Aunque las torres de covarianza de remolinos ofrecen un trabajo de supervisión mínimo, pueden tener un costo prohibitivo, ya que requieren la compra de torres de flujo y sensores caros, así como pagar al personal para realizar un procesamiento complejo de los datos. Los métodos de cámara estática pueden ser menos costosos de instalar, pero requieren

más tiempo y esfuerzo para instaurarlos y supervisarlos (e igualmente precisan la compra de sensores). Las cámaras requieren la construcción o compra de pasarelas para evitar perturbar el lugar donde se medirán los flujos.

Si se utiliza un indicador indirecto para los flujos de GEI, los cambios en las reservas de carbono pueden determinarse de dos maneras: 1) método de diferencia en reserva, que estima la diferencia en las reservas de carbono medidas en dos puntos en el tiempo (estimación de nivel 3), o 2) método ganancia-pérdida, que estima la diferencia en las reservas de carbono basándose en los factores de emisión de actividades específicas y se deriva de la literatura y de los datos de actividad del país (estimaciones de nivel 1 y 2) (Howard et al 2014).

Mientras que los indicadores indirectos pueden utilizarse para las emisiones de CO₂, y de CH₄ en los casos en los que la salinidad es superior a 18 ppt, se necesitan mediciones directas del flujo para medir las emisiones de N₂O y de CH₄ en los casos de menor salinidad. Las emisiones de N₂O están relacionadas sobre todo con los aportes acuáticos/agrícolas y suelen ser insignificantes, a menos que el sistema tenga una fuente de carga de nitratos (p. ej., escorrentía de fertilizantes), mientras que la producción de CH₄ está directamente relacionada con la salinidad (Poffenbarger et al 2011).

The Blue Carbon Manual (Howard et al 2014) es un recurso estándar para los métodos de recolección y contabilidad de la cuantificación del carbono azul. Hemos incluido aquí un poco de información resumida, en particular sobre el carbono orgánico del suelo y los flujos de GEI que son de especial importancia en la contabilidad del carbono azul. Si desea información adicional sobre los pasos para recolectar, analizar y calcular el carbono orgánico del suelo, los flujos de GEI, y para medir el carbono de la biomasa por encima y por debajo del suelo en los ecosistemas de carbono azul, consulte el manual: [The Blue Carbon Manual – Coastal Blue Carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows](#) (El manual del carbono azul. Carbono azul costero: métodos para evaluar las reservas de carbono y los factores de emisión en manglares, marismas mareales y praderas marinas).



Una demostración de una muestra de suelo extraída de la marisma. Basado en imágenes de ©Stefanie Simpson



Un ejemplo de supervisión de GEI utilizando cámaras estáticas y una pasarela marítima establecida. Basado en imágenes de ©NOAA

Modelado de GEI

Los sistemas costeros son muy dinámicos, por lo que los modelos biogeoquímicos costeros deben ser muy sofisticados e incorporar un gran número de parámetros. Se sabe que los modelos costeros presentan una gran variabilidad y son propensos a errores o a una simplificación excesiva. Si un desarrollador de proyecto decide utilizar este enfoque, **los modelos utilizados para simular los efectos de las actividades del proyecto sobre las reducciones y eliminaciones de GEI deberán calibrarse y validarse siempre con conjuntos de datos medidos de los mismos GEI.** La validación del modelo debe informar de forma transparente de los errores de predicción del modelo y propagar ese error a las subsiguientes simulaciones del modelo. Los proyectos de carbono de alta calidad pondrán a disposición del público informes de validación de modelos que incluyan todos los datos utilizados para la calibración y la validación y los mostrarán de forma intuitiva frente a las predicciones de los modelos como simples gráficos de dispersión. **Los modelos utilizados en los proyectos para cuantificar las eliminaciones de SOC deben validarse en función de su capacidad para predecir los cambios en las reservas de SOC y no simplemente las reservas de SOC.**

Se necesitan datos reales de campo muy específicos para validar los modelos utilizados en los proyectos de carbono azul de alta calidad. Los mejores datos proceden de estudios a largo plazo (>5 años) en los que se realizan mediciones repetidas de la fuente o el reservorio de GEI objetivo a lo largo del tiempo en parcelas emparejadas en las que se llevan a cabo tanto la actividad mejorada del proyecto como la actividad de la línea base. En el caso del carbono azul, estos modelos contrastados sobre el terreno aún están en fase de desarrollo y requieren una mayor validación sobre el terreno para ser aplicables de forma más generalizada. Los

estudios que no cumplen estos criterios a menudo solo miden las fuentes y los depósitos de GEI en un único momento, lo que limita su utilidad en la validación de modelos. Los compradores de créditos de carbono de alta calidad podrían considerar invertir en estudios de investigación con el fin de generar los datos necesarios para validar rigurosamente los modelos de GEI basados en procesos.

Contabilidad de la incertidumbre

Los proyectos de alta calidad que cuantifican múltiples fuentes de incertidumbre deben contabilizar de forma conservadora el impacto de esa incertidumbre en la cantidad de créditos emitidos para el proyecto. Una contabilidad adecuada de la incertidumbre crea una distribución de las probabilidades en torno a una estimación puntual del impacto climático de un proyecto. El volumen final de crédito emitido a un proyecto puede entonces seleccionarse a partir de esta distribución con el fin de representar una emisión conservadora que se base en las incertidumbres comunicadas. **Los estándares de alta calidad exigen que en los proyectos se realicen deducciones de incertidumbre en la contabilidad del proyecto cuando exista un error superior al 20 % con un intervalo de confianza del 90 % o un error del 30 % con un intervalo de confianza del 95 %.** Dado que la distribución de la incertidumbre se crea a partir de la incertidumbre en los métodos de cuantificación del proyecto, este enfoque de acreditación incentiva los proyectos que reducen la incertidumbre mediante pasos como la reducción del error de predicción del modelo (mejorar la validación del modelo), la inversión en datos obtenidos a nivel local y la reducción del error de muestreo (recolectar más muestras).



CONSEJOS PARA COMPRADORES

- Solicite un informe que resuma todas las fuentes y los reservorios de GEI acreditados por el proyecto, sus métodos de cuantificación asociados y los tipos de incertidumbre que se tienen en cuenta.
 - Asegúrese de que se utilicen los mismos métodos de cuantificación tanto en la línea base como el escenario de proyecto para cada fuente o reservorio de GEI.
- Pregunte qué datos se están recopilando a nivel local en el sitio del proyecto y qué métodos se están utilizando. ¿Las mediciones en campo siguen los protocolos establecidos en The Blue Carbon Manual (Howard et al 2014)?
- Asegúrese de que la emisión final de créditos contabilice de manera conservadora la incertidumbre y los riesgos mediante una emisión inferior al volumen de crédito medio previsto para el proyecto (es decir, que contribuya a un reservorio de base, 20 %+ en promedio para los proyectos de Carbono azul, ya que tan solo el riesgo de aumento del nivel del mar puede suponer una reducción de 20 puntos por riesgo). Para perfeccionar y minimizar la puntuación de riesgo se requieren muchos datos específicos del sitio, un área en la que es necesario invertir más.
- Para proyectos que midan las reservas de SOC y los cambios en las reservas:
 - Pregunte si se ha estratificado la zona del proyecto antes de recolectar las muestras de suelo.
 - Pregunte si se utilizaron métodos de masa de suelo equivalente cuando se calcularon los cambios en la reserva de SOC.
 - Pregunte sobre la densidad del muestreo y si el error de la muestra se tiene en cuenta en el volumen final de créditos.
 - Si se utilizan métodos de medición alternativos, pregunte cuál es el error de esos métodos y si se tiene en cuenta en la emisión final del crédito.
- Para proyectos de medición de la biomasa aérea y subterránea:
 - Pregunte si el proyecto utiliza ecuaciones alométricas pertinentes para la especie/a nivel local y si esas ecuaciones fueron revisadas por pares.
- Para proyectos que modelen las emisiones de GEI:
 - Solicite ver el informe de validación del modelo del proyecto y asegúrese de que este muestre un gráfico de dispersión simple del rendimiento del modelo con los datos de estudios anteriores de la actividad del proyecto.
- Consulte cómo se tuvo en cuenta el aumento del nivel del mar.

Comprometerse con las comunidades locales



Los proyectos costeros de carbono azul suelen implicar a diversas partes interesadas y tierras con una tenencia poco definida. Los proyectos de carbono azul pueden ocurrir en una zona donde viven y trabajan estas comunidades y repercutir significativamente en las economías locales. Los proyectos de alta calidad implementan salvaguardas sociales con el fin de proteger los derechos de estas comunidades, incorporan los conocimientos ecológicos y el liderazgo local en todos los elementos del diseño y la implementación del proyecto, y garantizan un acceso equitativo a la tierra y a los ingresos del carbono. A continuación, se indican las mejores prácticas:

- Establecer un proceso de consentimiento libre, previo e informado (CLPI).
- Garantizar una participación inclusiva junto con los pueblos indígenas y las comunidades locales, las mujeres, los jóvenes y otros grupos marginados en la planificación, el diseño y la gobernanza de los proyectos.
- Establecer mecanismos accesibles de comentarios y quejas.
- Respetar los usos del suelo y las culturas locales.
- Capacitar a las comunidades locales para definir un reparto equitativo de los ingresos (preferentemente de una manera que permita a las comunidades obtener un mayor porcentaje de los beneficios a medida que aumentan los

precios y compensando a los desarrolladores de los proyectos con una tasa fija).

- Operar a nivel local y de acuerdo con el contexto.
- Diseñar acuerdos y contratos que sean transparentes y equitativos.

Para obtener orientación adicional que fundamente las decisiones y acciones en el momento de trabajar con las partes interesadas en el carbono azul, consulte los siguientes recursos:

- [High-Quality Blue Carbon Principles and Guidance: A triple-benefit investment for people, nature, and climate](#) (Principios y orientaciones sobre el carbono azul de alta calidad: Una inversión con triple beneficio para las personas, la naturaleza y el clima —en inglés—)
- [Including Local Ecological Knowledge \(LEK\) in Mangrove Conservation & Restoration: A Best-Practice Guide for Practitioners and Researchers](#) (Inclusión de los conocimientos ecológicos locales [CEL] en la conservación y restauración de los manglares: Guía de buenas prácticas para profesionales e investigadores —en inglés—)
- [Human Rights Guide for Working with Indigenous Peoples and Local Communities](#) (Guía de derechos humanos para trabajar con pueblos indígenas y comunidades locales —en inglés—)



CONSEJOS PARA COMPRADORES

- Pregunte si se ha realizado un mapeo de las partes interesadas y cómo participó y sigue participando la comunidad local en la planificación e implementación del proyecto.
- Solicite ver un registro del proceso de CLPI.
- Consulte cómo se ha tenido en cuenta el género en la divulgación y la participación de las partes interesadas.
- Pregunte cómo se han abordado las barreras lingüísticas.
- Pregunte quién es el propietario de la zona del proyecto y si la misma entidad conservará los derechos sobre el carbono.
 - Si se ha transferido la propiedad de los créditos, ¿cómo se beneficia la comunidad de los ingresos del carbono? ¿El propietario del crédito es local de la comunidad o los ingresos se destinan en gran medida a entidades externas?
- ¿El enfoque de reparto de los beneficios del carbono utiliza porcentajes o tasas fijas?

Revisión de la metodología del carbono azul



FPocos estándares de carbono ofrecen metodologías para acreditar los proyectos de carbono azul, y existe una variación sustancial entre las distintas metodologías en cuanto a los requisitos mínimos para el uso de las herramientas científicas. La tabla siguiente resume los métodos existentes publicados por los principales estándares voluntarios sobre el carbono.

Tabla 3: Un resumen de las metodologías disponibles para los humedales costeros.

Estándar	Metodología	Año de publicación	Estado de desarrollo	Tipo de mercado	En proceso de actualización
VCS	Metodología VCS VM0033 para la restauración de humedales mareales y praderas marinas, v2.0 (en proceso de actualización a v2.1)	2023	Completo	Voluntario	x
VCS	Marco de trabajo de metodología VCS VM0007 REDD+ (REDD+MF), v1.6 (en proceso de actualización a v1.7)	2020	Completo	Voluntario	x
ACR	Restauración de los humedales deltaicos y costeros de California de ACR	2017	Completo	Voluntario	
Programa de Reducción Certificada de Emisiones de China (CCER)	La metodología del proyecto de reducción voluntaria de las emisiones de gases de efecto invernadero: Creación de vegetación de manglares (CCER-14- 002-V01)	2023	Completo	Regulado	
Sistema Australiano de Créditos de Carbono (ACCS)	Iniciativa de cultivo de carbono: Restauración mareal de los ecosistemas de carbono azul, por medio del modelo de contabilidad del carbono azul (BlueCAM)	2021	Completo	Regulado	
Plan Vivo (PV Climate V5)	PM001: Metodología de evaluación de los beneficios del carbono en la agricultura y la silvicultura	2023	Completo	Voluntario	x
Estándar de Oro	Metodología para la gestión sostenible de los manglares v1.0	2024	En desarrollo	Voluntario	En proyecto

Nota: En el momento de su redacción (mayo de 2024), esta lista pretende ser inclusiva pero no exhaustiva y no indica un respaldo metodológico por parte de The Nature Conservancy.



CONSEJOS PARA COMPRADORES

- La metodología VCS VM0033 exige que los proyectos cumplan las mejores prácticas científicas actuales. Realice una averiguación adicional en los proyectos verificados con otras metodologías para asegurarse de que cumplan con un nivel de rigor similar.
- Tenga en cuenta que las metodologías VM0007 y VM0033 están pendientes de actualización. Se espera que los módulos de carbono azul de VM0007 se trasladen a VM0033.

NOTAS FINALES

- 1 Tenga en cuenta que este informe no define cómo evaluar los servicios ecosistémicos de los proyectos de carbono. Para conocer las opciones sobre cómo evaluar estos beneficios, consulte las metodologías disponibles como parte del Estándar de Impacto Verificado de Desarrollo Sostenible (SDVISTA) o el Estándar de Clima, Comunidad, Biodiversidad (CCB) de Verra.
- 2 Un valor predeterminado es un factor de emisiones “global” que no es específico de un sitio y puede sobrestimar o subestimar las emisiones o el secuestro en un sitio determinado. Suelen ser desarrolladas por el IPCC y aprobadas para su uso conforme una metodología determinada. Sin embargo, un factor de emisiones de alta calidad puede (debería) medirse en el sitio específico en campo (nivel 3).
- 3 Abreviatura de “alóctono”. El carbono alóctono es carbono que se secuestró en un lugar, se transportó y se depositó en otro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- Chmura, Gail y Anisfeld, Shimon y Cahoon, Donald y Lynch, James. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetlands. *Global Biogeochem Cycles*. 17.
- Emmer, I., von Unger, M., Needelman, B., Crooks, S., Emmett-Mattox, S. 2015.
- Coastal Blue Carbon in Practice: A manual for using the VCS Methodology for Tidal Wetland and Seagrass Restoration VM0033. Restore America’s Estuaries and Silvestrum. Arlington, VA. <https://estuaries.org/wp-content/uploads/2018/08/rae-coastal-blue-carbon-methodology-web.pdf>
- Grimm, Spalding, Leal et al. 2024. Including Local Ecological Knowledge (LEK) in Mangrove Conservation & Restoration: A best practice guide for practitioners and researchers. www.mangrovealliance.org: <https://doi.org/10.5479/10088/118227>.
- Howard, J., Sutton-Grier, A.E., Smart, L.S., Lopes, C.C., Hamilton, J., Kley-pas, J., Simpson, S., McGowan, J., Pessarrodona, A., Alleway, H.K., Landis, E., 2023. Blue carbon pathways for climate mitigation: known, emerging and unlikely, *Marine Policy*, Volumen 156, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105788>
- Howard J., Hoyt S., Isensee K., Telszewski M., Pidgeon E., Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, Tidal Saltmarshes Seagrasses (“The Blue Carbon Manual”) (2014) doi:https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BMurdiyarsol401.pdf
- Poffenbarger H.J., Needelman B.A., Megonigal J.P., Salinity influence on methane emissions from tidal marshes, *Wetlands* 31 (5) (2011)
- Zhou et al. 2023. How does uncertainty of soil organic carbon stock affect the calculation of carbon budgets and soil carbon credits for croplands in the U.S. Midwest? *Geoderma*, 429, 116254.

AGRADECIMIENTOS Y DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Los autores desean dar las gracias a los expertos y revisores que han hecho posible este trabajo: Diana Rodríguez-Paredes, Kathleen Onorevole, Kim Myers, Ryan Moyer y Sophia Bennani-Smires.

Este trabajo fue financiado parcialmente por Shell plc mediante el pago de 26 000 dólares. El informe ha sido redactado por The Nature Conservancy bajo el pleno control editorial de The Nature Conservancy. Las opiniones, datos y análisis de este informe son independientes de las opiniones de Shell plc y sus filiales.

