

NOVIEMBRE 2024

GUÍA PARA LA CERTIFICACIÓN DE PROYECTOS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En el marco del Sistema de
Compensación de Emisiones

Desarrollado por AONIK





AONIK SPA

DIRECTOR EJECUTIVO Y EDITOR:

Nicolas Nazal Schuenemann

nicolasnazal@aonik.cl

<https://aonik.cl/>

DISEÑO:

Camila Gómez-Marañón

Ministerio de Medio Ambiente

FECHA:

04 noviembre 2024

Guía para el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en el marco del Sistema de Compensación de Emisiones.

Este trabajo se ha desarrollado con aportes del Programa Desarrollo Productivo Sostenible, coordinado por el Comité de Ministros y Ministras para el Desarrollo Productivo Sostenible.

Tabla de Contenido

Resumen Ejecutivo	5
Glosario y Lista de Definiciones	6
Introducción	7
Impuesto verde	8
Objetivos, contenido y audiencia objetivo de la guía.	9
Capítulo 1: Programas de Certificación	10
1.1. ¿Qué son los Programas de Certificación de Emisiones?	11
1.2. Situación actual de los mercados de carbono voluntario	14
1.3. Programas de Certificación reconocidos por el MMA para el SCE	16
1.3.1. Verified Carbon Standard VERRA	17
1.3.2. Gold Standard	19
1.3.3. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)	21
Capítulo 2: Metodologías de Certificación	23
2.1 Tipologías de Proyectos:	24
2.1.1. Soluciones Basadas en la Naturaleza	25
2.1.2. Proyectos de Energía Renovable	26
2.1.3. Proyectos de Eficiencia Energética	27
2.1.4. Gestión de Residuos y Captura de Metano	27
2.1.5. Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS)	28
2.1.6. Cambio de Combustibles	29
2.1.7. Carbono Azul	29
2.2. Disponibilidad de Metodologías en estándares homologados	31
Capítulo 3: Ciclo de Vida de un Proyecto de Reducción de Emisiones	32
3.1 Ciclo de Vida de un Proyecto de Reducción de Emisiones	33
3.1.1. Diseño y Planificación del Concepto	34
3.1.2. Estudio de Pre Factibilidad	35
3.1.3. Desarrollo del PDD	36
3.1.4. Validación	37
3.1.5. Registro de proyecto	37
3.1.6. Implementación y monitoreo	38
3.1.7. Verificación de las reducciones de emisión	38
3.1.8. Emisión de Créditos de Carbono	39
3.1.9. Cierre de Proyecto y Retiro de créditos	40

Tabla de Contenido

Capítulo 4: Casos Aplicados	41
4.1. Caso 1: Proyecto de Soluciones Basadas en la Naturaleza, restauración de bosque degradado en Chiloé	42
4.1.1. Análisis del Predio, Condiciones habilitantes y Diseño de Proyecto	43
a. Diseño de proyecto	44
b. Determinación del escenario base	44
c. Demostración de adicionalidad	45
4.1.2. Desarrollo del proyecto	46
a. Supuestos proyecto restauración: escenario base	47
b. Supuestos proyecto restauración: escenario proyecto	47
4.1.3. Resultados de la Cuantificación de Reducciones de CO2 y análisis económico.	48
4.2. Caso 2: Proyecto de gestión de gas de vertedero de la Curva de Rodas y La Pradera (Colombia)	52
4.2.1. Descripción General del Proyecto	52
4.2.2. Descripción Técnica y Tecnología Implementada	53
4.2.3. Impacto en la Reducción de Emisiones	55
4.2.4. Impacto en el Desarrollo Sostenible	56
4.2.5. Metodología de Monitoreo y Evaluación	56
4.2.6. Análisis de Adicionalidad y Barreras Financieras	57
4.2.7. Actores Clave y Financiación	59
Cierre y agradecimientos	60

Resumen Ejecutivo

Este documento responde a la creciente necesidad de abordar los efectos del cambio climático, que están impactando de manera directa y severa tanto en el país como a nivel global. Entre otros, Chile enfrenta un aumento sostenido de temperaturas, cambios en los regímenes de precipitación, olas de calor, y una mayor frecuencia e intensidad de incendios forestales. Estos fenómenos climáticos afectan no solo los ecosistemas y la biodiversidad, sino también la calidad de vida de las personas y las proyecciones económicas del país. Frente a este escenario, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es crucial para contribuir a la meta global de limitar el aumento de temperatura a 1.5°C, compromiso establecido en el Acuerdo de París.

El objetivo de esta Guía es proporcionar una orientación práctica y completa para desarrolladores de proyectos de reducción de emisiones de GEI que desean emitir créditos de carbono. La Guía se enmarca en el Sistema de Compensación de Emisiones¹ (SCE) de Chile y apunta a facilitar el desarrollo y certificación de proyectos que puedan neutralizar o reducir emisiones en sectores estratégicos. Esto es especialmente relevante en el contexto del impuesto verde de Chile², el cual grava a las empresas por sus emisiones y permite que estas puedan compensarlas mediante la inversión en proyectos certificados de reducción de emisiones. De este modo, la Guía se convierte en un recurso clave para empresas que desean cumplir con sus compromisos de carbono neutralidad y al mismo tiempo contribuir a la sostenibilidad nacional. Para facilitar el proceso de desarrollo de proyectos de reducción de emisiones, la Guía detalla los Programas de Certificación reconocidos por el MMA, entre ellos los estándares de Verra (VCS), Gold Standard y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

Estos programas de certificación garantizan la integridad y transparencia de los créditos de carbono, asegurando que las reducciones de emisiones son **reales, medibles y adicionales**. La Guía también ofrece una introducción a los conceptos básicos de los mercados de carbono, explica el ciclo de vida de un proyecto de reducción de emisiones y brinda pautas para la elección de metodologías según el tipo de proyecto.

Además de cubrir el contexto y los principios fundamentales de los créditos de carbono, la guía aborda metodologías específicas de certificación para distintos tipos de proyectos. Estos incluyen soluciones basadas en la naturaleza, como la reforestación y la conservación de ecosistemas, proyectos de energía renovable y de eficiencia energética, así como iniciativas de captura y almacenamiento de carbono. Para cada categoría, la Guía describe las metodologías que guían el diseño y la implementación de los proyectos. La guía incluye además dos casos prácticos que ilustran el proceso de diseño, planificación y ejecución de proyectos de reducción de emisiones en distintos contextos. El primer caso práctico describe un proyecto de Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) en Chiloé, orientado a la restauración de bosques degradados. Este proyecto detalla la fase de evaluación de prefactibilidad, lo que implica analizar la viabilidad técnica y económica para la generación de créditos de carbono mediante reforestación con especies nativas y conservación de zonas forestales. El análisis incluye la estimación de créditos potenciales, los costos asociados y el diseño de actividades de monitoreo para asegurar que el proyecto cumpla con los estándares de compensación. El segundo caso práctico presenta un proyecto de gestión de gas de vertedero en Colombia, específicamente en los sitios de disposición final Curva de Rodas y La Pradera, ubicados en la región noroccidental del país cerca de Medellín. Este proyecto busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante un sistema avanzado de captura y quema de metano, un gas con un impacto significativo en el cambio climático.

¹ Creado mediante Decreto Supremo N°4/2023 del Ministerio del Medio Ambiente.

² Artículo 8° de la Ley N° 20.780.

Glosario y lista de definiciones

- **Adicionalidad:** Criterio que asegura que la reducción de emisiones de un proyecto no se habría producido sin el financiamiento proporcionado por el mercado de carbono.
- **ARR (Reforestación, Aforestación y Revegetación):** Actividades de restauración de vegetación que contribuyen a la absorción de carbono en proyectos forestales.
- **Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS):** Tecnología para capturar y almacenar dióxido de carbono, evitando su liberación a la atmósfera.
- **Certificados de Reducción de Emisiones (CERs):** Corresponde a un bono o crédito de carbono equivalente a 1 tonelada de CO₂eq reducida.
- **Co-beneficios:** Beneficios adicionales de un proyecto de reducción de emisiones, como la mejora de la biodiversidad o el desarrollo comunitario.
- **CO₂ eq (Dióxido de Carbono Equivalente):** Unidad que representa el potencial de calentamiento global de diversos gases de efecto invernadero en términos equivalentes de CO₂.
- **GEI (Gases de Efecto Invernadero):** Gases como el CO₂, CH₄ y N₂O que contribuyen al calentamiento global al atrapar el calor en la atmósfera.
- **Greenwashing:** Práctica de aparentar responsabilidad ambiental mediante afirmaciones engañosas, sin un compromiso real con la sostenibilidad.
- **IFM (Mejora en la Gestión Forestal):** Estrategias de manejo forestal que optimizan la capacidad de los bosques para almacenar carbono.
- **Impuesto Verde:** Impuesto que grava las emisiones al aire en sectores específicos, como parte de las políticas de mitigación del cambio climático de Chile.
- **Insetting:** Estrategia en la cual las empresas invierten en proyectos de reducción de emisiones dentro de su propia cadena de valor.
- **Mercado Voluntario de Carbono (VCM):** Mercado en el que empresas y personas pueden comprar créditos de carbono para compensar sus emisiones de manera voluntaria.
- **MtCO₂e:** Millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, unidad para medir emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Objetivos Basados en la Ciencia (SBTi):** Iniciativa que establece metas de reducción de emisiones basadas en la ciencia climática para alinearse con el Acuerdo de París.
- **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS):** Metas globales establecidas por la ONU para promover un desarrollo sostenible a nivel social, económico y ambiental.
- **Principios Básicos de Carbono del ICVCM:** Estándares del Integrity Council for the Voluntary Carbon Market (ICVCM) que definen criterios de calidad para los créditos de carbono.
- **Programas de Certificación:** Programas que certifican la calidad de los créditos de carbono en mercados voluntarios y de cumplimiento. Para ser parte del SCE, estos programas deben ser reconocidos por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile.
- **REDD+:** Estrategia para la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación de bosques, promoviendo la conservación y gestión sostenible de los mismos.
- **Sistema de Compensación de Emisiones (SCE):** Mecanismo que habilita la compensación de emisiones gravadas por el Impuesto Verde.

Introducción

Contexto sobre el cambio climático y la necesidad de proyectos de reducción de emisiones

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos globales, resultado del aumento de la temperatura promedio de la Tierra debido a la acumulación de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O). Estos gases provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles, el cambio en el uso del suelo y la deforestación. Para evaluar su impacto, se utiliza la medida de "dióxido de carbono equivalente" (CO₂ eq), que permite comparar el potencial de calentamiento de cada gas respecto al CO₂.

El calentamiento global ha desencadenado efectos catastróficos en Chile y el mundo, como el aumento del nivel del mar, fenómenos climáticos extremos, alteraciones en los ecosistemas y una mayor vulnerabilidad de las comunidades humanas. Para enfrentar este escenario, la acción climática urgente es crucial. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es esencial para limitar el aumento de la temperatura global a 1.5°C, Tal como se establece en el Acuerdo de París. En Chile los efectos del cambio climático ya están a la vista, teniendo efecto sobre las vidas de las personas, ecosistemas naturales, sistemas productivos y proyecciones económicas. Los efectos más claros se pueden observar en el aumento de las temperaturas, cambios en los regímenes de lluvia, olas de calor, aumento del nivel de mar y mayor ocurrencia y severidad de los incendios.

Una estrategia clave para mitigar el cambio climático es la "carbono neutralidad", que busca equilibrar las emisiones inevitables (o residuales) con capturas adicionales de carbono. Los bonos (o créditos) de carbono se han convertido en una herramienta económica fundamental para alcanzar esta meta, ya que ofrecen un incentivo financiero para reducir o capturar emisiones de gases de efecto invernadero. Además, este tipo de estrategias juegan un papel crucial en la transición hacia economías más limpias, ya que promueven la innovación tecnológica, la eficiencia energética y la adopción de energías renovables.

Proyectos como la reforestación, la restauración de ecosistemas y la implementación de tecnologías limpias, no solo ayudan a capturar carbono, sino que también contribuyen a la resiliencia de las comunidades y de la biodiversidad frente al cambio climático. Asimismo, el desarrollo de mercados de compensación, facilitado por el Sistema de Compensación de Emisiones (SCE), permite a las industrias que generan grandes emisiones invertir en iniciativas que reduzcan o capturen gases de efecto invernadero, creando un puente hacia una economía más sostenible y justa.

Según la Ley N° 19.300, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) es responsable de diseñar y ejecutar políticas, planes y programas en materia ambiental, incluyendo la protección de la biodiversidad y los recursos naturales renovables e hídricos, con el fin de promover el desarrollo sostenible y garantizar la coherencia y regulación normativa en el ámbito ambiental.

La Ley N° 20.780, publicada el 29 de septiembre de 2014, introdujo una reforma tributaria que, en su artículo 8°, estableció un impuesto anual a las emisiones al aire. Este impuesto grava tanto las emisiones locales (como material particulado, óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre) como las emisiones globales (dióxido de carbono) generadas por fuentes fijas. En 2016, la Ley N° 20.899 modificó este artículo para simplificar el sistema de tributación, y en 2020, la Ley N° 21.210 modernizó la legislación tributaria, manteniendo el impuesto, pero estableciendo umbrales específicos: grava a los establecimientos cuyas fuentes emisoras generen 100 o más toneladas de material particulado o 25.000 o más toneladas de dióxido de carbono anualmente.

Además, el artículo 8° permite que los contribuyentes sujetos al impuesto puedan compensar parcial o totalmente sus emisiones mediante proyectos de reducción de emisiones, siempre que estas reducciones sean adicionales a las obligaciones impuestas por normativas de prevención, descontaminación o resoluciones ambientales vigentes. Los proyectos de compensación deben cumplir con estándares adicionales que superen cualquier requisito legal preexistente. El 29 de septiembre de 2023, el Decreto Supremo N° 4 del Ministerio del Medio Ambiente aprobó el "Reglamento de proyectos de reducción de emisiones de contaminantes", que organiza el Sistema de Compensación de Emisiones (SCE). Este sistema está compuesto por organismos estatales, programas de certificación externos avalados por el MMA, auditores autorizados y plataformas informáticas como el Registro Nacional de Proyectos de Reducción de Emisiones. El SCE tiene como objetivo una descarbonización justa, facilitando la reducción de emisiones en las industrias locales y apoyando la creación de mercados de gases de efecto invernadero. Además, fomenta la innovación, la investigación y el desarrollo (I+D), así como la productividad en el sector privado. Uno de los ejes principales del SCE es la homologación de certificados emitidos por Programas de Certificación que están reconocidos por el Ministerio del Medio Ambiente. Estos programas exigen que los proyectos de reducción de emisiones sigan un ciclo detallado que incluye procedimientos, Guías y metodologías específicas para que los créditos de reducción de emisiones sean válidos.

Objetivos, contenido y audiencia objetivo de la Guía.

Una de las barreras que ha ralentizado el despliegue del SCE es la falta de capacidades técnicas para desarrollar proyectos de reducción de emisiones, lo que se ha evidenciado en los talleres regionales organizados por el MMA. Como respuesta a lo anterior, se ha planteado la necesidad de generar material que guíe a los desarrolladores de proyectos en el cumplimiento de los requerimientos metodológicos de los Programas de Certificación, permitiendo así la emisión de créditos de reducción de emisiones, y su posterior uso para compensación de emisiones gravadas por el Impuesto Verde.

El objetivo de esta guía es proporcionar a los desarrolladores de proyectos de reducción de emisiones un recurso que los oriente en todas las etapas del ciclo de un proyecto en el marco de los Programas de Certificación reconocidos por el MMA. Dirigida específicamente a desarrolladores que buscan emitir créditos de carbono para utilizarlos en el Sistema de Compensación de Emisiones (SCE), la guía incluye una descripción detallada de los Programas de Certificación, sus componentes, como estándares, registros y protocolos, y ofrece una visión de las principales metodologías disponibles según la tipología de proyectos (sector, medidas o tecnología), tanto a nivel internacional como nacional. Además, caracteriza el ciclo de vida de un proyecto, desde la evaluación de prefactibilidad hasta la emisión de créditos, abordando objetivos de cada etapa, tiempos estimados, costos referenciales, riesgos, actores involucrados y herramientas necesarias.

CAPÍTULO 1

Programas de Certificación

1.1 ¿Qué son los Programas de Certificación?

Los mercados de créditos voluntarios de carbono ofrecen la posibilidad de adquirir créditos certificados para compensación de emisiones, por ejemplo, en el marco de programas de carbono neutralidad de carácter corporativo o esquemas tributarios como es el caso del Impuesto Verde nacional.

Estos créditos emitidos al alero de programas de certificación, no solo contribuyen a neutralizar la huella de carbono de las organizaciones, sino que también fortalecen su responsabilidad social corporativa, mejoran su reputación pública, atraen a inversores y consumidores que valoran la sostenibilidad, o les permite reducir su carga tributaria. Los créditos de carbono son fundamentales para que las empresas cumplan con sus compromisos de sostenibilidad y objetivos climáticos en el contexto de los Acuerdos de París.

La adicionalidad en los créditos de carbono es un principio clave que asegura que las reducciones de emisiones generadas por un proyecto no habrían ocurrido en ausencia de este. En otras palabras, los proyectos deben demostrar que las actividades que resultan en reducciones de emisiones o remociones de carbono son adicionales a lo que sucedería en un escenario "*business as usual*".

Esto es crucial para garantizar la integridad del mercado de carbono, ya que solo se otorgan créditos si el proyecto efectivamente contribuye a la mitigación del cambio climático. Sin la adicionalidad, existiría el riesgo de otorgar créditos a proyectos que no generan beneficios climáticos reales, lo que socavaría la efectividad de los mercados de carbono y la confianza en los mismos. Por lo tanto, la adicionalidad es esencial para asegurar que los créditos de carbono realmente promuevan la reducción global de emisiones y fomenten una transición hacia una economía baja en carbono.

La generación de créditos de carbono puede lograrse mediante diversos tipos de proyectos, siendo los más destacados aquellos vinculados a los sectores de energía renovable, eficiencia energética, construcción sostenible, gestión de desechos, agricultura sostenible y actividades forestales como la reforestación y la protección de bosques existentes. Estos proyectos no solo capturan o evitan la emisión de gases de efecto invernadero, sino que también aportan beneficios colaterales (denominados co-beneficios) como la mejora de la biodiversidad, la creación de empleo y el desarrollo comunitario en regiones vulnerables.

A nivel mundial, existen varios programas de certificación, entre los que se encuentran:

Verified Carbon Standard (VCS)

Es uno de los programas más reconocidos a nivel mundial, administrado por Verra. Certifica proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que demuestren resultados medibles y verificables. VCS cubre una amplia gama de sectores como energía renovable, agricultura y forestación.

Gold Standard

Desarrollado por WWF y otras ONG, este estándar se enfoca en proyectos que no solo reducen emisiones de GEI, sino que también generan beneficios ambientales, sociales y de desarrollo sostenible. Es utilizado frecuentemente en proyectos de bosques y desarrollo comunitario, promoviendo altos impactos en la sostenibilidad.

Climate Action Reserve (CAR)

Es un programa de certificación de bonos de carbono en Norteamérica, centrado principalmente en Estados Unidos. Proporciona protocolos para diferentes tipos de proyectos (forestales, agrícolas, residuos, etc.), y tiene un enfoque riguroso en la precisión científica para calcular reducciones de emisiones.

Clean Development Mechanism (CDM)

Implementado bajo el Protocolo de Kioto, permite a países desarrollados financiar proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo y recibir créditos de carbono. Es uno de los mecanismos más antiguos y está administrado por las Naciones Unidas. A la fecha este mecanismo no está vigente, y será reemplazado por el mecanismo que se genere en el marco del artículo 6.4 del Acuerdo de París.

Plan Vivo

Es un estándar diseñado para proyectos comunitarios que buscan reducir emisiones de GEI mientras promueven medios de vida sostenibles y mejoras en la biodiversidad. Se enfoca en proyectos a pequeña escala, principalmente en países en desarrollo, con énfasis en la participación comunitaria.

American Carbon Registry (ACR)

Este estándar de certificación estadounidense promueve la transparencia y rigurosidad científica en la cuantificación de reducciones de emisiones. ACR cubre proyectos en sectores como energía, agricultura, forestación y reducción de gases industriales.

Cercarbono

Es un programa internacional de certificación de créditos de carbono con enfoque en América Latina y el Caribe. Ofrece un sistema integral de validación, verificación y emisión de créditos para proyectos que reducen o capturan emisiones de gases de efecto invernadero, como reforestación, energías renovables y manejo de tierras. Cercarbono se enfoca en promover prácticas sostenibles, garantizando que los proyectos certificados cumplan con altos estándares de calidad y transparencia.

Biocarbon

Es un programa de certificación y registro de origen colombiano que desarrolla Normas de Carbono y Biodiversidad alineadas con los esfuerzos de sostenibilidad medioambiental y social. Aborda proyectos en sectores como las energías renovables, el transporte, la gestión de residuos y la Agricultura, Silvicultura y Otros Usos del Suelo (AFOLU). Estos proyectos contribuyen a mitigar el cambio climático y pueden optar a Créditos de Carbono Verificados (CCV) en el mercado mundial del carbono.

Australian Carbon Credit Unit

Es un crédito de carbono emitido por el gobierno australiano, donde cada unidad representa una tonelada de CO₂e evitada o eliminada. Se genera a través de proyectos aprobados bajo el Emissions Reduction Fund (ERF), que incluyen reforestación, manejo de tierras y captura de metano. Las ACCUs pueden venderse en mercados voluntarios o a empresas con obligaciones de reducción de emisiones. Este mecanismo promueve la reducción de emisiones y apoya los objetivos climáticos de Australia mediante un sistema de verificación y monitoreo riguroso.

La siguiente figura muestra los volúmenes en megatoneladas, los valores de venta en dólares y los precios promedio de transacción de sus créditos en los años 2022 y 2023. De los principales estándares vigentes, como se observa en 2023, los volúmenes de créditos de carbono transados disminuyeron significativamente en la mayoría de los estándares en comparación con 2022, especialmente en el caso del VCS (de 158 a 56.2 MtCO₂e) y el CDM (de 37.7 a 6.9 MtCO₂e). Sin embargo, los precios experimentaron fluctuaciones variadas: algunos estándares como el CAR y el CDM vieron incrementos en el precio promedio por tonelada, mientras que otros como el VCS y Gold Standard registraron una caída en sus precios. En términos generales, los montos transados también se redujeron, con excepciones como el ACR, que mostró un incremento en volumen pese a una caída en el precio por tonelada.

ESTÁNDAR	2022			2023		
	VOLUMEN (MtCo2e)	VALOR (USD)	PRECIO (USD)	VOLUMEN (MtCo2e)	VALOR (USD)	PRECIO (USD)
VCS	158.0	\$1.3 B	\$8.07	56.2	\$382.3 M	\$6.81
GOLD STANDARD	20.9	\$159.0 M	\$7.60	15.8	\$99.8 M	\$6.31
ACR	3.5	\$59.5 M	\$17.01	10.7	\$60.7 M	\$5.66
CDM	37.7	\$73.0 M	\$1.94	6.9	\$18.0 M	\$2.63
CAR	3.1	\$14.2 M	\$4.56	3.2	\$24.0 M	\$7.43
PLAN VIVO	2.1	\$27.5 M	\$13.06	1.6	\$18.7 M	\$11.52
CERACARBONO	4.1	\$23.5 M	\$5.73	0.48	\$1.9 M	\$4.04
UK WOODLAND CARBON CODE	0.21	\$5.2 M	\$24.41	0.16	\$4.7 M	\$29.17

Figura 1: Volúmenes, Montos y precios promedios de los diferentes estándares 2022/2023. Fuente: State of the Voluntary Carbon Markets (2024), Ecosystem Marketplace.

En la siguiente sección se abordan mas detalles sobre la situación de volúmenes y precios transados.

1.2. Situación actual de los mercados de carbono voluntario

En 2023, el volumen y valor del mercado voluntario de carbono (VCM) se contrajo por segundo año consecutivo desde su mayor valor en 2021, con una disminución del 56% en el volumen de transacciones reportadas año tras año. El valor total de las transacciones reportadas fue de 723 millones de dólares, lo que representa una caída del 61% en comparación con el año anterior (Fig. 2).

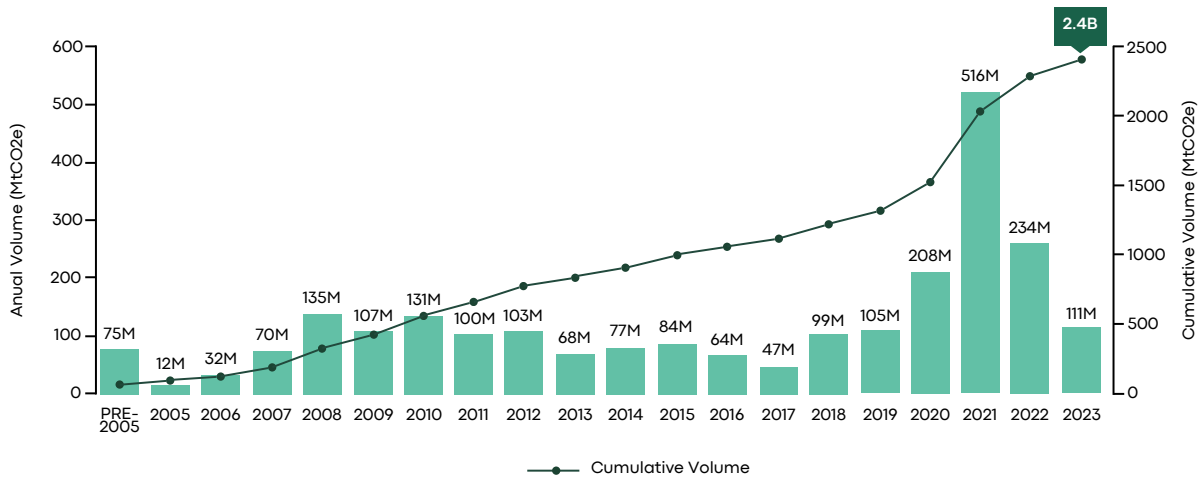


Figura 2: Tamaño del mercado voluntario, volumen transado de créditos de carbono pre 2005 hasta 2023. Fuente: State of the Voluntary Carbon Markets (2024), Ecosystem Marketplace.

En promedio, los compradores pagaron \$6.53 por tonelada de CO_{2e} en 2023, lo que marca una leve disminución respecto a 2022. Sin embargo, los precios medios de los créditos en 2023 fueron más altos que en cualquier año antes de 2022 (Fig. 3).

	2022			2023			Percent Change		
	Volume (MtCO _{2e})	Value (USD)	Price (USD)	Volume (MtCO _{2e})	Value (USD)	Price (USD)	Volume	Value	Price
Forestry & Land Use	113.0	\$11B	\$10.14	36.2	\$351.3 M	\$9.72	-68%	-69%	-4%
Renewable Energy	92.7	\$386.1 M	\$4.16	28.6	\$111.1 M	\$3.88	-69%	-71%	-7%
Chemical Processes/ Industrial Manufacturing	13.3	\$68.5 M	\$5.14	12.2	\$50.2 M	\$4.10	-8%	-27%	-20%
Household / Community Devices	9.1	\$77.6 M	\$8.55	9.9	\$76.6 M	\$7.70	+10%	-1%	-10%
Energy Efficiency / Fuel Switching	6.6	\$35.6 M	\$5.39	9.4	\$34.4 M	\$3.65	+43%	-3%	-32%
Agriculture	3.8	\$41.7 M	\$11.02	4.7	\$30.6 M	\$6.51	+24%	-26%	-41%
Waste Disposal	6.2	\$44.9 M	\$7.23	1.5	\$10.9 M	\$7.48	-77%	-76%	-3%
Transportation	0.18	\$770 K	\$4.37	-	-	-	-	-	-

Figura 3: Volúmenes y Precios Según Categoría. Fuente: State of the Voluntary Carbon Markets (2024), Ecosystem Marketplace.

El impacto negativo en los volúmenes transados y sus precios ocurrió en gran medida por la prensa negativa respecto a la controversia de algunos proyectos acreditados en que se cuestiona la adicionalidad y la gobernanza de los proyectos de créditos de carbono, así como el potencial lavado de imagen de las empresas. Esto llevó a una retirada directa de la inversión de los compradores y a una mayor complejidad para los desarrolladores de proyectos, ya sea por cambios en los requisitos de los estándares de emisión de créditos o por una mayor demanda de debida diligencia por parte de los compradores. La publicación de los Principios Básicos de Carbono del ICVCM y el lanzamiento del Código de Reclamaciones del VCMI contribuyeron a aumentar la confianza de los compradores en la calidad e integridad del mercado. Sin embargo, los retrasos en la implementación de estas iniciativas y la falta de orientación de la Iniciativa de Objetivos Basados en la Ciencia (SBTi) sobre el uso de compensaciones de carbono para cumplir con los objetivos corporativos de neutralidad de carbono fueron señalados por muchos como factores clave que mantuvieron a los compradores al margen durante gran parte de finales de 2023. Los datos sugieren una creciente división en el mercado entre los compradores que buscan proyectos de eliminación pura de carbono y aquellos comprometidos con proyectos que ofrecen beneficios sociales y ambientales adicionales. Estos co-beneficios son un motivo central para algunos compradores, lo que apunta a una posible convergencia con los mercados emergentes de créditos de biodiversidad y naturaleza positiva. En 2023, los compradores buscaron preferentemente créditos que representaran remociones de emisiones y que demostraran claramente la adicionalidad del proyecto. Aunque la proporción de créditos comercializados provenientes de proyectos que certifican co-beneficios "más allá del carbono" a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) o certificaciones individuales creció, la prima que los compradores pagaron por estos créditos disminuyó respecto a los valores de 2022, lo que sugiere una creciente oferta de proyectos que brindan beneficios locales adicionales. A pesar de que el valor total del mercado cayó en todas las categorías de créditos VCM, cada categoría tuvo trayectorias distintas en términos de volúmenes comercializados y precios promedio. Las mayores caídas brutas en volumen ocurrieron en los créditos de Uso de Suelo y Bosques y Energía Renovable, que siguen siendo los tipos de proyectos más populares, pero que enfrentaron un intenso escrutinio, especialmente en torno a los cálculos de adicionalidad del proyecto (Fig. 4).

	2022			2023		
	Volume (MtCO ₂ e)	Value (USD)	Price (USD)	Volume (MtCO ₂ e)	Value (USD)	Price (USD)
REDD + (ALL)	57.4	\$584.2 M	\$10.19	28.2	\$222.3M	\$7.87
Afforestation-Reforestation and Revegetation (ARR)	10.8	\$129.8 M	\$12.05	4.1	\$64.8 M	\$15.74
Improved Forest Management (IFM)	4.5	\$66.2 M	\$14.67	2.4	\$38.9 M	\$16.21
Blue Carbon	3.4	\$39.3 M	\$11.58	0.38	\$3.2 M	\$8.33

Figura 4: Precios y volúmenes de la categoría Bosque y Usos de la Tierra. Fuente: State of the Voluntary Carbon Markets (2024), Ecosystem Marketplace.

Dentro de la categoría de créditos de Uso de Suelo y Bosques, los créditos REDD+, el tipo de proyecto basado en la naturaleza más popular, perdieron un 62% de su valor interanual, con una caída del 51% en el volumen de transacciones y del 23% en el precio. Contrariamente a lo ocurrido con REDD+, los precios de los créditos de Reforestación-Aforestación y Revegetación (ARR) y de Mejora en la Gestión Forestal (IFM) aumentaron.

1.3. Programas de Certificación reconocidos por el MMA para el SCE.

Para que los programas de certificación puedan ser parte del SCE, deben ser reconocidos por el Ministerio del Medio Ambiente mediante resolución exenta. A noviembre de 2024 estos corresponden a³: Gold Standard, Verified Carbon Standard (VCS) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). A continuación, se presenta una síntesis de la información más relevante de cada uno de estos programas.

³ Resolución Exenta N° 1.420/2023 del MMA que reconoce a los programas de certificación externos que indica, a sus entidades verificadoras, y valida de oficio sus metodologías.



1.3.1 Verified Carbon Standard VERRA

Verra es una organización global sin fines de lucro que administra el Verified Carbon Standard (VCS), el cual se ha convertido en uno de los principales estándares de certificación de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial. El estándar VCS abarca proyectos en sectores como la reforestación, la energía renovable, la agricultura sostenible y la captura de carbono, generando créditos de carbono verificables que pueden ser adquiridos por empresas, gobiernos y otros actores interesados en compensar sus emisiones.

Verra ha crecido exponencialmente con el aumento de la demanda de bonos de carbono, impulsado por el compromiso de las empresas y gobiernos con la neutralidad de carbono. En 2022, el VCS registró transacciones por un volumen de 158 MtCO₂e, con un valor de 1.3 mil millones de dólares, lo que representa uno de los mercados más grandes dentro de los bonos de carbono voluntarios. Sin embargo, para 2023, el volumen disminuyó a 56.2 MtCO₂e, con un valor de 382.3 millones de dólares, reflejando una tendencia general de desaceleración en el mercado de carbono, posiblemente debido a la incertidumbre económica global y las crecientes críticas sobre la integridad de algunos créditos de carbono.



Figura 5: Principales categorías de proyectos del estándar VCS. Fuente: Elaboración propia.

1.3.2. Gold Standard

Gold Standard es uno de los estándares más reconocidos para la certificación de proyectos de reducción de emisiones de carbono y desarrollo sostenible. Fundado en 2003 por el World Wide Fund for Nature (WWF) y otras ONGs internacionales, se creó con el objetivo de garantizar que los proyectos de compensación de carbono no solo redujeran las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también generaran beneficios significativos para las comunidades locales y el desarrollo sostenible.

A diferencia de otros estándares que se centran únicamente en la reducción de carbono, Gold Standard ha sido pionero en integrar objetivos de desarrollo social, asegurando impactos positivos en áreas como la salud, la educación y la conservación de la biodiversidad.

Gold Standard fue lanzado en respuesta a las preocupaciones sobre la eficacia y la integridad de los proyectos de compensación de carbono en los primeros años del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto. Muchos de estos proyectos fueron criticados por no generar verdaderos beneficios adicionales ni cumplir con los estándares de sostenibilidad. En este contexto, WWF, junto con otras organizaciones no gubernamentales, creó Gold Standard con el propósito de mejorar los niveles de verificación de los proyectos de carbono, garantizando que las reducciones fueran reales, medibles y adicionales, mientras se cumplían con los Objetivos de Desarrollo del Milenio de la ONU (hoy llamados Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS).

Principales metodologías y sus usos

Las principales metodologías del estándar buscan no solo reducir emisiones, sino también promover el desarrollo sostenible. Se destacan proyectos de energía renovable, eficiencia energética, manejo de residuos y forestales. Los proyectos de energía renovable desplazan combustibles fósiles mediante tecnologías limpias, los de eficiencia energética optimizan el uso de energía en procesos industriales o domésticos, y en manejo de residuos se captura metano o se convierte en biogás. Los proyectos forestales incluyen reforestación, aforestación y gestión sostenible, protegiendo la biodiversidad y mejorando los medios de vida locales, alineados con los ODS.






Metodología	1 Descripción	2 Impacto Ambiental	3 Impacto Social
 Energía Renovable	Certificación de proyectos que utilizan fuentes limpias como energía solar, eólica, hidroeléctrica, etc.	Reducción de emisiones de CO ₂ al desplazar combustibles fósiles.	Acceso a energía limpia, empleo local.
 Eficiencia Energética	Optimización del consumo de energía en industrias, hogares y transporte.	Menor consumo de energía y emisiones de GEI.	Reducción de costos energéticos, mejor calidad de vida.
 Manejo de Residuos	Proyectos de captura de metano en vertederos o conversión de residuos orgánicos en biogás.	Reducción de emisiones de metano (CH ₄) y uso de energías alternativas.	Mejora en la gestión de residuos, creación de empleo en reciclaje.
 Proyectos Forestales	Iniciativas de reforestación, aforestación y gestión forestal sostenible.	Captura de carbono, protección de la biodiversidad.	Protección de comunidades locales, creación de empleos rurales.
 Restauración Ecosistemas	Proyectos que restauran ecosistemas degradados para incrementar la captura de carbono.	Mejoramiento de servicios ecosistémicos, captura de carbono.	Mejora en la resiliencia de comunidades rurales, generación de ingresos.

Figura 6: Principales metodologías del estándar Gold Standard. Fuente: Elaboración propia.

1.3.3. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El MDL o Clean Development Mechanism (CDM), por sus siglas en inglés, fue establecido oficialmente en 1997, durante las negociaciones del Protocolo de Kioto, que buscaba comprometer a los países desarrollados a reducir sus emisiones de GEI.

El objetivo del MDL era doble: por un lado, ayudar a los países en desarrollo a implementar proyectos que redujeran sus emisiones y promovieran el desarrollo sostenible, y por otro, proporcionar una vía para que los países desarrollados pudieran alcanzar sus objetivos de reducción de emisiones de manera más económica.

A partir de 2020, el futuro del MDL ha estado en entredicho debido a la transición hacia el Acuerdo de París, que reemplaza al Protocolo de Kioto. Se espera que el nuevo mecanismo basado en el artículo 6.4 del Acuerdo de París sirva como una versión modernizada del MDL, incorporando las lecciones aprendidas y mejorando la transparencia y adicionalidad de los proyectos.

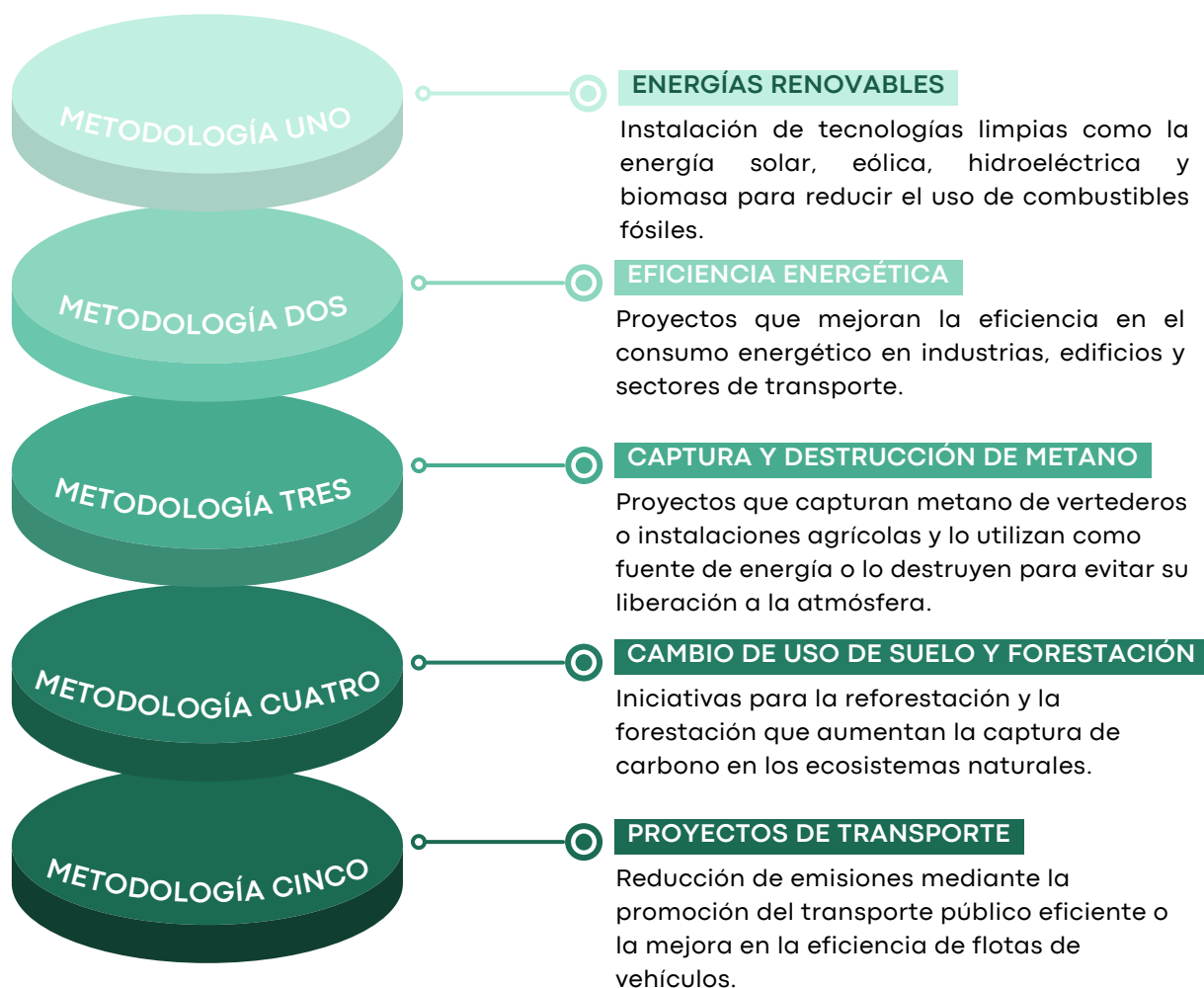


Figura 7: Principales metodologías del estándar MDL. Fuente: Elaboración propia.

SITUACIÓN ACTUAL DEL ESTÁNDAR.

El mercado del MDL alcanzó su auge entre 2005 y 2012, cuando miles de proyectos en países en desarrollo fueron registrados, generando millones de RCE (reducción certificada de emisiones). Sin embargo, la demanda de RCE cayó drásticamente después del colapso del precio del carbono y la incertidumbre en torno a la prolongación del Protocolo de Kioto tras 2012.

A partir de 2020, el futuro del MDL ha estado en entredicho debido a la transición hacia el Acuerdo de París, que reemplaza al Protocolo de Kioto. Se espera que el nuevo mecanismo basado en el artículo 6.4 del Acuerdo de París sirva como una versión modernizada del MDL, incorporando las lecciones aprendidas y mejorando la transparencia y adicionalidad de los proyectos.

A medida que el MDL ha ido perdiendo relevancia, otros mecanismos de compensación de carbono, como los mercados voluntarios, han crecido en popularidad. Sin embargo, se espera que las lecciones aprendidas del MDL, especialmente en términos de aseguramiento de la integridad ambiental y el desarrollo sostenible, influyan en el diseño de futuros mecanismos de carbono.

CAPÍTULO 2

Metodologías de certificación

2.1. Tipologías de Proyectos

Las categorías de créditos de carbono en el Mercado Voluntario de Carbono se agrupan según el tipo de actividad que genera la reducción o captura de emisiones. Estas categorías ofrecen una visión general de los enfoques más comunes utilizados para compensar emisiones y contribuir a los objetivos climáticos globales. A continuación, se presenta una descripción resumida de cada una de estas categorías, sus características clave y los métodos de implementación utilizados.

2.1.1. Soluciones Basadas en la Naturaleza

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son proyectos que aprovechan los ecosistemas naturales para secuestrar carbono. Estos proyectos incluyen la reforestación, la protección de bosques, la restauración de ecosistemas costeros y el mejoramiento de las prácticas agrícolas. Son cruciales porque además de mitigar el cambio climático, suelen generar múltiples beneficios ambientales y sociales, como la conservación de la biodiversidad y la mejora de los medios de vida locales.

Estos proyectos generan adicionalidad cuando los árboles y otras plantas absorben dióxido de carbono de la atmósfera durante su crecimiento, almacenándolo en su biomasa y en el suelo, gracias a las actividades implementadas por el proyecto que no se hubiera generado en ausencia de este.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Aforestación y Reforestación:** Plantar árboles en áreas previamente degradadas o no forestadas. Se seleccionan especies de árboles apropiadas para maximizar el secuestro de carbono, al mismo tiempo que se considera la biodiversidad y las condiciones locales.
- **REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal):** Proyectos que incentivan la conservación de bosques existentes, compensando a las comunidades por evitar la tala y promover el manejo sostenible de los recursos forestales.
- **Agricultura Sostenible y Agroforestería:** Técnicas que mejoran la salud del suelo, promueven la biodiversidad y aumentan la captura de carbono en suelos agrícolas, como la rotación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la integración de árboles en terrenos agrícolas.

2.1.2. Proyectos de Energía Renovable

Los proyectos de energía renovable buscan reemplazar la energía generada a partir de combustibles fósiles con fuentes de energía limpia y sostenible, como la solar, la eólica, la hidroeléctrica y la biomasa. Estos proyectos son fundamentales para la transición hacia economías de bajas emisiones de carbono y para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Energía Eólica:** Instalación de turbinas eólicas para aprovechar la energía del viento y generar electricidad. Generalmente se localizan en áreas con vientos fuertes y constantes.
- **Energía Solar:** Implementación de paneles fotovoltaicos o plantas solares térmicas para capturar la energía solar y convertirla en electricidad. Suelen ser eficaces en regiones con altos niveles de radiación solar.
- **Energía Hidroeléctrica:** Proyectos que aprovechan el flujo de agua en ríos y arroyos para generar electricidad.

2.1.3. Proyectos de Eficiencia Energética

Los proyectos de eficiencia energética se centran en reducir el consumo de energía en diversas actividades industriales, comerciales y residenciales. Al optimizar el uso de la energía, estos proyectos disminuyen las emisiones asociadas con la generación de electricidad y el uso de combustibles fósiles.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Eficiencia en Edificios:** Incluye mejoras en la iluminación, aislamiento térmico, sistemas de climatización y electrodomésticos, todo diseñado para reducir el consumo de energía.
- **Eficiencia en la Industria:** Optimización de maquinaria, procesos de manufactura y uso de energías más eficientes en fábricas e instalaciones industriales.
- **Transporte Eficiente:** Promoción de vehículos eléctricos, mejoras en el transporte público y adopción de tecnologías más eficientes en la flota vehicular.

Los proyectos en esta categoría se centran en reducir las emisiones de metano, un potente gas de efecto invernadero que se libera principalmente durante la descomposición de residuos orgánicos en vertederos y el tratamiento de aguas residuales. El metano capturado puede utilizarse para generar electricidad o ser quemado, evitando su emisión. Por ende, al capturar y utilizar el metano, se evita su liberación directa a la atmósfera y se genera energía limpia. También es posible realizar un aprovechamiento de los residuos generados, realizando su compostaje o generando otros subproductos útiles.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Captura de Gas de Vertedero:** Se instalan sistemas para recolectar el gas metano emitido por los residuos orgánicos en descomposición en vertederos, que luego se quema o se utiliza como fuente de energía.
- **Digestión Anaeróbica:** Proceso en el que los residuos orgánicos se descomponen en un entorno sin oxígeno, produciendo biogás (metano) que puede capturarse y utilizarse como energía.
- **Compostaje:** Transformación de residuos orgánicos en compost, reduciendo las emisiones de metano y generando un fertilizante natural para la agricultura.

2.1.4. Gestión de Residuos y Captura de Metano

2.1.5. Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS)

Los proyectos de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) implican la captura de CO₂ directamente de fuentes industriales o del aire, para su almacenamiento subterráneo o su reutilización en procesos industriales. Esta tecnología puede ser relevante para mitigar las emisiones de sectores difíciles de descarbonizar, como la industria pesada y la generación de energía a base de combustibles fósiles. Para implementar este tipo de proyectos se requiere soluciones avanzadas que requieren inversiones significativas en tecnología.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Captura Directa de Aire (DAC):** Tecnologías que capturan CO₂ directamente del aire, utilizando sistemas de ventilación especializados.
- **Almacenamiento Geológico:** El CO₂ capturado se inyecta en formaciones geológicas subterráneas seguras, como acuíferos salinos o antiguos yacimientos de gas.
- **Utilización de Carbono:** El CO₂ capturado puede reutilizarse en procesos industriales, como la fabricación de combustibles sintéticos, hormigón o plásticos.

2.1.6. Cambio de combustibles

Los proyectos de cambio de combustibles reemplazan combustibles fósiles de alto contenido de carbono, como el carbón o el petróleo, con fuentes de energía de menor impacto ambiental, como el gas natural, la biomasa o el biogás. Estos proyectos reducen las emisiones al mejorar la eficiencia energética (por ejemplo, utilizando equipos más modernos) y utilizar fuentes más limpias. En muchos casos se utilizan tecnologías que pueden integrarse en las instalaciones energéticas existentes.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Conversión a Gas Natural:** Reemplazo de carbón o petróleo por gas natural, que genera menos emisiones por unidad de energía producida.
- **Uso de Biomasa:** Sustitución de combustibles fósiles por biomasa, que es renovable y puede ser más sostenible dependiendo de la fuente.

El carbono azul se refiere al carbono almacenado en ecosistemas marinos y costeros, como los manglares, las praderas marinas y las marismas. Estos ecosistemas tienen una alta capacidad para secuestrar y almacenar carbono, tanto en la biomasa como en los sedimentos subyacentes. Los ecosistemas de carbono azul pueden almacenar grandes cantidades de carbono durante siglos o milenios, además, no solo secuestran carbono, sino que también protegen la biodiversidad marina y costera.

MÉTODOS DE IMPLEMENTACIÓN:

- **Restauración de Manglares y Praderas Marinas:** Proyectos que restauran estos ecosistemas mediante la plantación de vegetación costera, mejorando la biodiversidad y el almacenamiento de carbono.
- **Protección de Ecosistemas Costeros:** Conservación de áreas de manglares y marismas para evitar su degradación y la liberación de carbono almacenado.

2.1.7. Carbono Azul

Cada una de estas categorías ofrece oportunidades para desarrollar proyectos que no solo contribuyan a la mitigación del cambio climático, sino que también promuevan el desarrollo sostenible a nivel local y global. La correcta implementación y verificación de estos proyectos garantiza que las reducciones de emisiones sean reales, adicionales y permanentes, aportando valor tanto a los compradores de créditos de carbono como a las comunidades involucradas. Como se mencionó anteriormente, los programas de certificación tienen metodologías asociadas a distintas tipologías de proyectos, abarcando una gran variedad o enfocándose en áreas más específicas. La Figura 9 muestra una tabla comparativa de los tipos de proyecto que admiten los programas de certificación reconocidos por MMA. Por otro lado, la figura 10 muestra las principales metodologías aplicables de cada programa.

TIPO DE PROYECTO	VERRA (VCS)	GOLD STANDARD	MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)
Energías renovables	Eólica, solar, hidroeléctrica, biomasa	Eólica, solar, geotérmica, hidroeléctrica, biogás	Eólica, solar, hidroeléctrica, biomasa
Proyectos REDD+	Conservación de bosques y reducción de la deforestación	No aplicable	No aplicable
Forestación y Reforestación (A/R)	Plantación y restauración de bosques	Restauración de ecosistemas naturales	Plantación y restauración de bosques
Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS)	Captura y almacenamiento de CO2	No aplicable	Captura y almacenamiento de CO2
Eficiencia energética	Mejoras industriales, edificios y transporte	Cocinas eficientes, distribución de bombillas de bajo consumo	Mejoras industriales, transporte e iluminación
Captura de metano	Vertederos, minas de carbón, aguas residuales	No aplicable	Vertederos, minas de carbón, aguas residuales
Proyectos de agua limpia	No aplicable	Acceso y purificación de agua potable	No aplicable
Manejo sostenible de tierras	Agricultura sostenible y uso eficiente de suelos	Agricultura sostenible y regenerativa	No aplicable
Sustitución de combustibles fósiles	Sustitución por fuentes de energía limpia	Sustitución por fuentes de energía limpia	Sustitución por fuentes de energía limpia

Figura 8: Tabla comparativa de los tipos de proyectos de reducción de GEI aceptados por los programas VCS, Gold Standard y MDL. Fuente: Elaboración propia.

Según se desprende de las tablas anteriores, cada programa tiene un enfoque particular en los tipos de proyectos que permite, con VCS y MDL siendo más amplios en su aceptación de proyectos forestales y de captura de carbono, mientras que Gold Standard pone mayor acento en la sostenibilidad social y ambiental.

2.2. Disponibilidad de Metodologías en estándares homologados

Cada estándar tiene metodologías específicas para cada tipo de proyecto. Estas metodologías son muy claras y específicas en cuanto a los métodos de implementación, medición de la adicionalidad y métodos de cuantificación. Verra, Gold Standard y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) han desarrollado nuevas metodologías para abordar las necesidades del mercado de carbono post-Acuerdo de París. Verra ha avanzado en metodologías que integran la agricultura regenerativa, la restauración de ecosistemas y la captura de carbono en suelos, además de enfoques para compensaciones basadas en soluciones naturales.

Gold Standard ha desarrollado enfoques innovadores que vinculan la reducción de emisiones con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), promoviendo proyectos de energía limpia y mejora de medios de vida. El MDL, introduce un enfoque más flexible y adaptado a los compromisos nacionales de reducción de emisiones, permitiendo una mayor inclusión de proyectos con impacto social y ambiental positivo. La figura 9 muestra las principales metodologías aplicables de cada estándar, mostrando cuál de ellas aborda cada programa de certificación.

TIPO DE PROYECTO	VERRA (VCS)	GOLD STANDARD	MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)
REDD+ (Reducción de deforestación)	VM0007, VM0015, VM0009	No aplicable	No aplicable
Forestación y Reforestación (A/R)	VM0013, VM0024	Restauración de ecosistemas naturales	AR-ACM0003, AR-AM0005
Energías renovables	VM0025 (solar), VM0002 (hidroeléctrica)	TPDDTEC (solar, biogás), Metodologías eólica y solar	ACM0002 (renovables a gran escala), AMS-I.D.
Eficiencia energética	VM0033 (cocinas limpias), VM0018 (edificios)	Cocinas eficientes, bombillas de bajo consumo	AMS-II.E. (edificios), AMS-II.G. (iluminación)
Captura y uso de metano	VM0011 (vertederos, minas)	No aplicable	ACM0010 (minas de carbón), AMS-III.G. (vertederos)
Captura de metano	Vertederos, minas de carbón, aguas residuales	No aplicable	Vertederos, minas de carbón, aguas residuales
Manejo sostenible de tierras	VM0017 (agricultura), VM0021 (fertilizantes)	Prácticas agrícolas sostenibles	No aplicable
Proyectos de agua limpia	No aplicable	Tecnologías de purificación de agua	No aplicable
Captura y almacenamiento de carbono	VM0034 (CCS)	No aplicable	No aplicable

Figura 9: Principales metodologías utilizadas en los estándares Verra (VCS), Gold Standard y MDL, organizadas por tipo de proyecto. Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO 3

Ciclo de Vida de un Proyecto de Reducción de Emisiones

3.1. Ciclo de Vida de un Proyecto de Reducción de Emisiones

El ciclo de vida de un proyecto de reducción de emisiones incluye varias etapas, entre ellas, algunas claves como: el diseño y planificación, donde se define la metodología a seguir y se evalúa el potencial de reducción de emisiones; la validación, en la que un tercero se involucra para asegurar que el proyecto cumple con los estándares del programa de certificación; la implementación del proyecto y monitoreo, durante la cual se ejecutan las actividades previstas y se mide el impacto en la reducción de emisiones; la verificación, donde un tercero confirma el volumen de reducciones logradas; la emisión de créditos, donde se generan los créditos de carbono equivalentes a las reducciones verificadas, listos para ser vendidos en los mercados voluntarios o regulados; y finalmente el retiro de los créditos, donde se acredita el uso de los mismos de forma tal de evitar la doble contabilidad.



Figura 10: Etapas del ciclo de vida de un proyecto de reducción de emisiones. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen las principales etapas de un ciclo de proyecto.

3.1.1. Diseño y Desarrollo del Concepto

El primer paso es identificar el tipo de proyecto que generará reducciones o remociones de emisiones. El concepto del proyecto debe alinearse con los objetivos de mitigación del cambio climático y los programas de certificación de emisiones. Se identifican oportunidades de reducción de emisiones y se diseña el proyecto siguiendo una metodología aplicable. El desarrollador analiza el potencial de reducción, evalúa la viabilidad financiera y técnica, y describe cómo el proyecto cumplirá con los requisitos para generar créditos.

En esta etapa se define qué tipo de proyecto se desarrollará, por ejemplo, si es un proyecto de Soluciones Basadas en la Naturaleza, se toman definiciones como si se protegerá el bosque existente o se generará un nuevo bosque a través de una plantación en un sitio donde no había antes. Estas definiciones generales se evalúan técnica y económicamente con mayor detalle en la siguiente etapa de Prefactibilidad.



Diseño
Características del Proyecto

The Nature Conservancy Chile

- La adquisición del VCR y las acciones de conservación constituyen dos actividades de REDD elegibles para VCS:
 1. Evitar la deforestación planificada (APD) al detener la construcción de la carretera costera.
 2. Evitar la degradación planificada (APD) deteniendo la conversión de bosque nativo en plantaciones de eucalipto
- Scope del Proyecto – Agriculture, Forest and other Land use (AFOLU)
- Emisiones brutas de GEI evitadas: 845 tCO₂e/ha
- Area total de Proyecto. 1273ha
- Unidades verificadas de carbono proyectadas sobre 500.000 VCU
- Respaldo de la conservación con Plan de Manejo y Servidumbre de Conservación

Figura 11: Ejemplo de diseño de proyecto Selva Costera Valdiviana de TNC para estándar VCS. (VCS es el registro del estándar de carbono verificado que Verra utiliza para gestionar proyectos y transacciones de créditos de carbono) Fuente: www.TNC.org

3.1.2. Estudio de Pre Factibilidad

En esta etapa se realiza un análisis exhaustivo del potencial del proyecto, que dé por resultado la recomendación de seguir adelante, o desechar el proyecto. En esta etapa el desarrollador del proyecto evalúa preliminarmente su viabilidad técnica, económica y legal. Se analiza el potencial de reducción de emisiones, los requisitos de inversión y el cumplimiento normativo, permitiendo decidir si el proyecto tiene fundamentos para avanzar a las siguientes fases.

En esta fase se requiere desarrollar la línea base, aunque sea en forma preliminar, ya que será necesaria para realizar los cálculos de adicionalidad y de esta forma estimar la cantidad de créditos que el proyecto puede generar. La línea base representa el escenario de emisiones que ocurriría sin el proyecto. Por ejemplo, si el proyecto es de reforestación, la línea base podría ser la deforestación continua o la degradación del suelo. La construcción de este escenario se establece utilizando datos históricos sobre, por ejemplo, el uso de la tierra o el consumo de energía según modelos o suposiciones basadas en tendencias locales y globales.

3.1.3. Desarrollo del PDD

La etapa de desarrollo del Documento de Diseño del Proyecto (PDD, por sus siglas en inglés) implica la elaboración detallada del plan técnico y metodológico que guiará el proyecto de reducción de emisiones. En el PDD, el desarrollador describe el alcance del proyecto, el contexto y las condiciones iniciales, especificando la metodología seleccionada para el cálculo de las reducciones de emisiones. También se incluyen los objetivos de reducción, el área geográfica de aplicación, los actores involucrados, y los procesos de monitoreo y verificación. Además, se documentan los supuestos técnicos, las variables clave y los indicadores que permitirán medir el éxito del proyecto a lo largo del tiempo. Este documento es fundamental para la validación y el registro del proyecto, ya que sirve como referencia para las auditorías y evaluaciones externas que verifican la viabilidad y la integridad técnica del proyecto. Cada sección del PDD está diseñada para asegurar que los créditos emitidos reflejen reducciones genuinas de emisiones, lo que es clave para mantener la integridad de los mercados de carbono. A continuación se presenta una breve descripción de cada sección que debe contener el documento:

- **Información General del Proyecto:** Describe el proyecto, incluyendo su título, ubicación, objetivos y partes involucradas. Incluye la duración del proyecto, que cubre desde su inicio hasta el monitoreo y la verificación, y detalla el propósito del proyecto en términos de reducción de emisiones y beneficios adicionales.
- **Justificación y Adicionalidad:** Explica por qué el proyecto es necesario y demuestra que no se habría realizado sin los ingresos generados por los créditos de carbono. Para esto, se presenta un análisis de barreras que el

proyecto enfrenta y habitualmente una evaluación financiera que justifica su viabilidad económica solo con la venta de créditos.

- **Metodología de Contabilidad de Carbono:** Define la metodología para calcular las reducciones de emisiones, estableciendo la línea base del proyecto (qué ocurriría sin él) y los procedimientos para medir las emisiones reducidas. También evalúa las posibles emisiones indirectas o fugas causadas por el proyecto.
- **Plan de Monitoreo:** Detalla cómo se recolectarán los datos necesarios para verificar las reducciones de emisiones, qué parámetros se medirán, con qué frecuencia y qué tecnologías se utilizarán. Incluye medidas para asegurar la calidad y precisión de los datos.
- **Evaluación de Impactos Ambientales y Sociales:** Evalúa cómo el proyecto afecta el medio ambiente y las comunidades locales. Describe tanto los beneficios como los impactos negativos potenciales, proponiendo medidas de mitigación si es necesario, para asegurar que el proyecto sea ambiental y socialmente sostenible.
- **Validación y Verificación:** Describe el proceso de validación inicial y las auditorías periódicas que verifican que el proyecto cumple con sus objetivos de reducción de emisiones. También incluye un cronograma de cuándo se llevarán a cabo estas auditorías.
- **Cálculo de Créditos de Carbono:** Proyecta la cantidad de emisiones que el proyecto reducirá en toneladas de CO₂ equivalente y explica cómo se distribuirán los créditos generados, ya sea para venta en mercados de carbono o para uso propio de las partes involucradas.
- **Anexos Técnicos:** Incluye documentación adicional como mapas, permisos, acuerdos con comunidades locales y cualquier referencia técnica que respalde los cálculos y metodologías utilizadas en el diseño y ejecución del proyecto.

3.1.4. Validación

La validación garantiza que el proyecto está técnicamente fundamentado para cumplir sus objetivos. En esta etapa, un tercero independiente acreditado valida el diseño del proyecto, asegurando que cumpla con las metodologías y requisitos del programa de certificación.

La validación de un proyecto de reducción de emisiones es realizada por una entidad independiente autorizada por el programa de certificación de interés del proyecto de reducción de emisiones (por ejemplo, VCS o Gold Standard). Esta entidad revisa el Documento de Diseño del Proyecto (PDD) y asegura que cumpla con los criterios y metodologías requeridos, evaluando la viabilidad del proyecto para lograr las reducciones de emisiones declaradas. La validación es un paso crucial, ya que garantiza la integridad y transparencia del proyecto antes de que sea registrado y avance a las etapas de monitoreo y verificación.

En síntesis, el PDD es revisado por un auditor independiente acreditado, el cual garantiza que:

- El proyecto cumple con los criterios del programa de certificación.
- La línea base, las metodologías y las suposiciones son científicamente sólidas.
- La participación de los interesados se ha llevado a cabo de manera adecuada.

3.1.5. Registro de proyecto

Tras la validación, el desarrollador registra el proyecto en el programa de certificación, obteniendo una autorización formal y un ID único que permite iniciar la implementación del proyecto y el monitoreo de reducciones de emisiones.

La etapa de implementación de un proyecto de carbono implica poner en marcha las actividades planificadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero según lo descrito en el Documento de Diseño del Proyecto (PDD). En esta fase, el desarrollador del proyecto ejecuta las acciones concretas, como restauración de ecosistemas, cambios en prácticas agrícolas o mejoras tecnológicas en procesos industriales, dependiendo de la naturaleza del proyecto.

Durante la implementación, se siguen los procedimientos de monitoreo y reporte establecidos para documentar las reducciones de emisiones en tiempo real. También se gestiona la capacitación y coordinación con los actores clave, asegurando que los procesos cumplan con los estándares necesarios para las futuras etapas de verificación y emisión de créditos.

La implementación efectiva y documentada es esencial para alcanzar las reducciones previstas y garantizar el éxito del proyecto en sus siguientes fases.

Un auditor independiente verifica que las reducciones reportadas son reales, medibles y adicionales, revisando los datos de monitoreo y la metodología utilizada. La verificación asegura que el proyecto está cumpliendo con sus compromisos.

3.1.6. Implementación y monitoreo

3.1.7. Verificación de las reducciones de emisión

3.1.8. Emisión de Créditos de Carbono

Tras la verificación, el programa de certificación emite los créditos de carbono en una plataforma de registro, listos para ser comercializados o usados como compensaciones. Estos créditos representan una reducción de emisiones confiable y certificada. A continuación, se describen los procesos de emisión y registro:

- **Emisión de Créditos:** Una vez completada la verificación, el programa de carbono emite un número correspondiente de créditos de carbono (medidos en toneladas métricas de CO₂-equivalente). Estos créditos generalmente se emiten a la cuenta del desarrollador del proyecto en el registro.
- **Registro de Créditos de Carbono:** Los créditos de carbono se listan en un registro público o privado (por ejemplo, Verra Registry, Gold Standard Registry) que asegura transparencia y trazabilidad. A cada crédito emitido se le asigna un número de serie único para evitar la doble contabilización.

La siguiente figura muestra como ejemplo la doble certificación del proyecto de TNC, el cual certificó la cantidad de créditos emitidos (asegurando por ejemplo su adicionalidad y descuentos de fugas del proyecto) con el estándar VCS de Verra y por otro lado, se certifica que el proyecto aporta al Clima, Comunidades y Biodiversidad con el estándar CCB, también de Verra.

Estandares utilizados

- Auditoría de los beneficios en secuestro de carbono realizada por un tercero independiente
- Transparencia en los registros públicos de créditos de carbono
- Los estándares aseguran la “adicionalidad” y el cálculo de las “fugas”
- Asegura la permanencia
 - **Servidumbre** - asegura la protección de largo plazo
 - **El seguro de amortiguación del Verified Carbon Standard** cubre la pérdida de reservas de carbono debido a causas naturales: fuego, terremoto / deslizamiento de tierra, huracanes, insectos
- CCB asegura que los ingresos son reinvertidos en Clima, Comunidades y Biodiversidad.




Figura 12: Ejemplo de un proyecto con certificación de dos estándares: VCS + CCB de VERRA. Fuente: www.TNC.org

En esta fase, los créditos de carbono generados pueden retirarse o cancelarse formalmente en el registro del programa de certificación. El retiro de los créditos asegura que estos no sean reutilizados y que las reducciones de emisiones contabilizadas sean únicas, permitiendo que los créditos sean aplicados para compensación en otros proyectos o ante reguladores.

A lo largo de estas etapas, los proyectos deben mantener una documentación rigurosa y transparencia, adhiriéndose a principios de contabilidad de carbono como la adicionalidad (el impacto del proyecto debe ir más allá de lo habitual), la permanencia (asegurarse de que las reducciones de emisiones sean duraderas) y la fuga (evitar que aumenten las emisiones en otros lugares como resultado del proyecto).

3.1.9. Retiro de créditos



CAPÍTULO 4

Casos aplicados

4.1. Caso 1: Proyecto de Soluciones Basadas en la Naturaleza, restauración de bosque degradado en Chiloé

El siguiente caso práctico es resultante de un análisis real durante el año 2024 en un predio de aproximadamente 10.000 hectáreas en Chiloé. El proyecto consistió en un estudio de prefactibilidad que permitiera confirmar la viabilidad técnica y económica de un proyecto de generación de créditos de carbono de bosques, así como determinar la cantidad de créditos posibles de generar y el costo estimado de estos. Dado que el proyecto aún está en fase de evaluación, no se han realizado las etapas de implementación, monitoreo y verificación.

El ciclo de vida de un proyecto de bonos de carbono de bosques, utilizando el caso práctico en Chiloé, sigue una serie de fases clave desde su conceptualización hasta la comercialización de los créditos de carbono. En el caso de este proyecto en particular incluyen:

1. **Análisis Económico:** Determinación de costos y posibles ingresos.
2. **Implementación del Proyecto:** En el proyecto actual, se plantea la reforestación con especies nativas en zonas degradadas y la conservación de zonas forestales en riesgo.
3. **Monitoreo y Recolección de Datos:** Este proceso incluye visitas de campo y análisis continuos para asegurar que se cumplen los objetivos de captura de carbono.
4. **Verificación y Emisión de Créditos:** Los resultados del proyecto son verificados por una entidad independiente, y se emiten los créditos de carbono que pueden ser comercializados.
5. **Comercialización de Créditos:** Los créditos generados, estimados en más de 30.000 créditos anuales en el proyecto REDD y 12.000 créditos anuales en la restauración, pueden ser vendidos en mercados de carbono o bien utilizados como insetting para compensar emisiones propias de los desarrolladores.
6. **Duración del Proyecto:** Los proyectos generalmente tienen un periodo crediticio de entre 20 y 100 años, con monitoreos periódicos. En el proyecto, se proyecta una duración de 50 años para la generación de créditos de carbono.

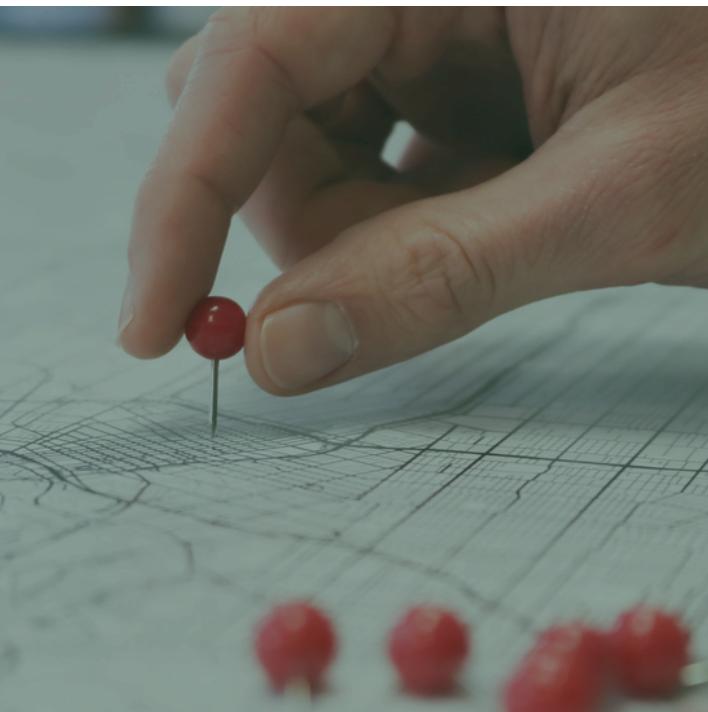
4.1.1. Análisis del Predio, Condiciones habitantes y Diseño de Proyecto

En primera instancia se realiza una evaluación general del terreno, incluyendo análisis de uso de suelo, elevación, tipos forestales, deforestación histórica, stock de carbono y reflexión de clorofila. Este análisis, apoyado por imágenes satelitales de 2024, revela marcadas diferencias en la densidad de vegetación: las zonas orientales muestran baja densidad y señales de intervención (como caminos visibles y menor cobertura de bosque), mientras que las áreas costeras mantienen una vegetación más densa y continua.

El uso predominante del suelo es el bosque nativo, fundamental para la captura de carbono y la biodiversidad. Sin embargo, el historial de deforestación y las intervenciones humanas podrían comprometer su función como sumidero de carbono, lo que subraya la necesidad de estrategias de manejo sostenible y monitoreo constante para su conservación.

El análisis de acuerdo al área de estudio revela que un posible proyecto abarca un área de influencia de 70.000 hectáreas en un radio de 10 km alrededor del predio.





A. DISEÑO DEL PROYECTO.

Se define el área geográfica y los límites del territorio donde se podría implementar un potencial proyecto. Se evalúan las posibles metodologías de los diferentes programas de certificación y se evalúa en una primera instancia la viabilidad técnica, económica, social y ambiental de implementar un proyecto de este tipo. En la etapa de diseño, se define una idea general del proyecto, sin cálculos ni estudios en profundidad. En general, se busca identificar características que informen sobre qué tipo de proyecto se podría llevar a cabo. Por ejemplo, si corresponde a conservación de los bosques existentes o de plantación donde no existía uno previamente. También se revisan aspectos generales que podrían impedir la realización de un proyecto, como la situación legal del terreno, los accesos, o la relación con las comunidades.



B. DETERMINACIÓN DEL ESCENARIO BASE.

Se establece la situación sin el proyecto, conocido como Business-As-Usual (BAU). Se analizan datos históricos sobre la deforestación y el stock de carbono, y se evalúa en detalle las condiciones del terreno y el estado de sus ecosistemas. Entre otros, los análisis biofísicos que se realizan corresponden a:

- Revisión detallada de imágenes satelitales
- Definición de uso de suelo, tales como bosques, cuerpos de agua, áreas desprovistas de vegetación, asentamientos humanos, etc.
- Determinación de cobertura y tipos forestales,
- Generación de modelos de elevación
- Reflexión de clorofila.

C. DEMOSTRACIÓN DE ADICIONALIDAD

Mediante las estimaciones realizadas, se prueba que las reducciones de emisiones no habrían ocurrido sin el proyecto. Se analizan metodologías que consideran la restauración y conservación de zonas del predio, las cuales generarían mayores capturas y menores emisiones de CO₂. Para realizar una correcta demostración de la adicionalidad, debe seleccionarse en esta etapa la metodología que se va a utilizar y poner en práctica los métodos de cálculo y restricciones estipuladas, así como tener en cuenta los módulos adicionales y herramientas que ponen a disposición los estándares.

Los principales análisis que se deben realizar durante este proceso son:

- Stock de carbono actual.
- Flujo neto de carbono.
- Análisis de deforestación histórica.
- Pérdida y ganancia de cobertura.

Entre los principales hallazgos sobre el predio en estudio se encuentra:

- **Deforestación y Degradación:** Utilizando imágenes satelitales de 2001 a 2021, se determinó que el área de influencia experimentó una deforestación del 1,9%, mientras que dentro del predio en estudio fue del 0,9%. Aunque la pérdida de cobertura es relativamente baja, la regeneración natural es limitada, debido a la constante extracción de biomasa y presencia de caminos, lo que sugiere un uso intenso del suelo que afecta la capacidad de recuperación del bosque.
- **Análisis de Stock de Carbono:** El stock de carbono varía significativamente en el predio y su área de influencia, con densidades más altas en parches de bosque nativo bien conservado y menores en áreas degradadas. Esta variación se correlaciona con la historia de uso del suelo en Chiloé, sugiriendo que la intervención humana histórica ha afectado la estructura y función del ecosistema.
- **Reflexión de Clorofila y Salud del Dosel:** El análisis satelital de 2024 destaca la actividad fotosintética mediante la reflexión de clorofila, indicando que los sectores de mayor densidad de vegetación son los menos intervenidos. Esto subraya que los sectores menos accesibles, como los de la costa, presentan una mejor salud forestal.
- **Caminos y Accesibilidad:** La red interior de caminos y accesos facilita la extracción de recursos, como madera y biomasa, concentrando la degradación en áreas accesibles. En sectores de difícil acceso, el bosque conserva su integridad ecológica y sigue siendo un sumidero de carbono efectivo.

Los datos levantados anteriormente se analizan con un alto nivel de detalle, el cual permitirá calcular la adicionalidad real de las actividades que se implementarán. Estos cálculos deben ser ajustados a los detalles del requerimiento de cada metodología y deben ser robustos para que sean aceptados y aprobados por el estándar por el cual se pretende certificar los créditos.

4.1.2. Desarrollo del proyecto

En esta fase se definen las actividades que se realizarán en el área de proyecto, describiendo qué y cómo se llevará a cabo, para luego construir una simulación de carbono enfocada en el Proyecto de Restauración para una zona de 1.600 hectáreas degradadas.

La simulación de carbono para el Proyecto de Restauración se basa en los lineamientos de la metodología "VM0007- REDD-Methodology-Framework-v1.7" de Verra, la cual es una nueva metodología recientemente activa desde el mes de junio de 2024 y aún tiene pendiente una actualización para su implementación. La elección de esta metodología se basa como referencia entre otras metodologías de diferentes estándares que permiten desarrollar proyectos REDD+ y de restauración de bosques. Se plantearon dos escenarios para analizar la evolución del stock y flujo de carbono en el área:

- **Escenario Base (sin intervención):** Este escenario representa la situación sin la implementación del proyecto de restauración. Considera una tala del 4% del volumen total de la masa forestal, lo que resulta en una captura inicial de 2,8 toneladas de CO₂ por hectárea por año, disminuyendo progresivamente debido a la continua degradación del área.
- **Escenario de Proyecto (con restauración):** En este escenario, se plantea la implementación de actividades de restauración mediante plantaciones de enriquecimiento, a razón de 280 árboles por hectárea por año. Estas actividades mantienen una captura inicial de 2,8 toneladas de CO₂ por hectárea por año, aumentando gradualmente hasta alcanzar una captura promedio de 6,9 toneladas de CO₂ por hectárea por año.

Ambos escenarios se proyectaron a lo largo de un período de 50 años para evaluar los cambios en el stock de carbono y la acumulación de CO₂ en el área de restauración.

La cuantificación de reducciones de GEI se realiza mediante el procesamiento de datos de acuerdo a la especificación de la metodología escogida, en este caso la VM0007 de Verra, para calcular las reducciones. En el caso de este predio, se estima que se podrían generar más de 2 millones de créditos de carbono en un periodo de 50 años entre los proyectos de restauración y REDD.

Los resultados del análisis muestran que el escenario de restauración eleva significativamente el stock de CO₂, alcanzando 690 toneladas por hectárea, mientras que en el escenario base cae a 171,1 toneladas. La intervención también eleva la tasa de secuestro anual de carbono, estabilizándola en aproximadamente 6,9 toneladas al final del periodo, comparado con pérdidas en el escenario sin intervención. Las figuras 13 y 14 muestran los resultados de los supuestos de la línea base y del escenario con proyecto.

a. Supuestos proyecto restauración

Escenario base

SUPERFICIE	1621	ha
ÍTEM	VALOR	UNIDAD U OBSERVACIÓN
Talla del Volumen Total	4,0	%
Extracción de camiones promedio	1,0	Camiones medianos
Stock base inicial Volumen total	377,34	m ³ ha ⁻¹
Stock base inicial CO2	345,9	ton CO2 ha ⁻¹
Superficie deforestada anual	65	ha año ⁻¹
Tasa Captura inicial	2,8	ton CO2 ha ⁻¹ año ⁻¹

Figura 13: Supuestos del escenario base del proyecto de restauración. Fuente: Elaboración propia.

b. Supuestos proyecto restauración

Escenario proyecto

SUPERFICIE	1621	ha
ÍTEM	VALOR	UNIDAD U OBSERVACIÓN
Plantación de enriquecimiento	280,0	árb ha ⁻¹
Tala del Volumen Total	-	%
Captura Inicial	2,8	ton CO2 ha ⁻¹ año ⁻¹
Captura promedio	6,9	ton CO2 ha ⁻¹ año ⁻¹

Figura 14: Supuestos del escenario del proyecto de restauración. Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa se realiza una evaluación económica detallada del proyecto a implementar, en este caso de restauración del bosque degradado. Para lo anterior, se deben cuantificar las inversiones, costos e ingresos del proyecto para el periodo por el cual estará vigente. En este caso, para restaurar esta área definida, se planifica una suplementación con 280 plantas nativas por hectárea a un costo unitario de USD 1,22 por planta y USD 400 por hectárea para el costo de plantación. Además, el proyecto considera medidas de protección para evitar nuevas pérdidas de biomasa, como la construcción de infraestructura (casas para guardaparques, oficinas, torres de vigilancia), cierre de caminos de acceso ilegal, y el mantenimiento de una plantilla de seis guardaparques en turnos continuos para monitorear y patrullar el área. Estas inversiones están principalmente concentradas en los primeros cinco años desde la implementación (principalmente la plantación), para luego mantener las actividades de resguardo durante los 50 años de horizonte proyectado. El costo unitario de los créditos de carbono generados se estima en un valor cercano a los veinte dólares, con una generación total de 600.000 créditos en 50 años para el proyecto de restauración.

A continuación, ver las figuras 19, 20, 21 y 22.

4.1.3. Resultados de la cuantificación de reducciones de CO₂ y análisis económico

Resultados

Simulación de carbono para escenario base y con proyecto (stock de c02).

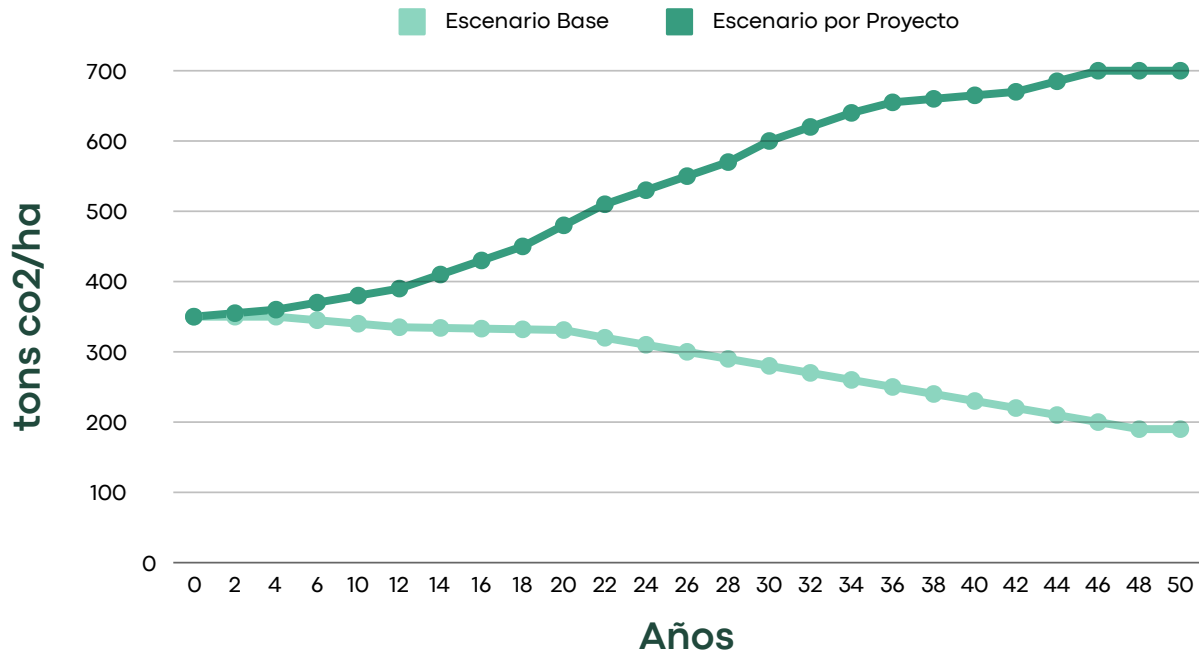


Figura 15: Simulación de carbono para escenario base y con proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Estimación de generación de créditos (emisiones calculadas y generación de créditos del proyecto).

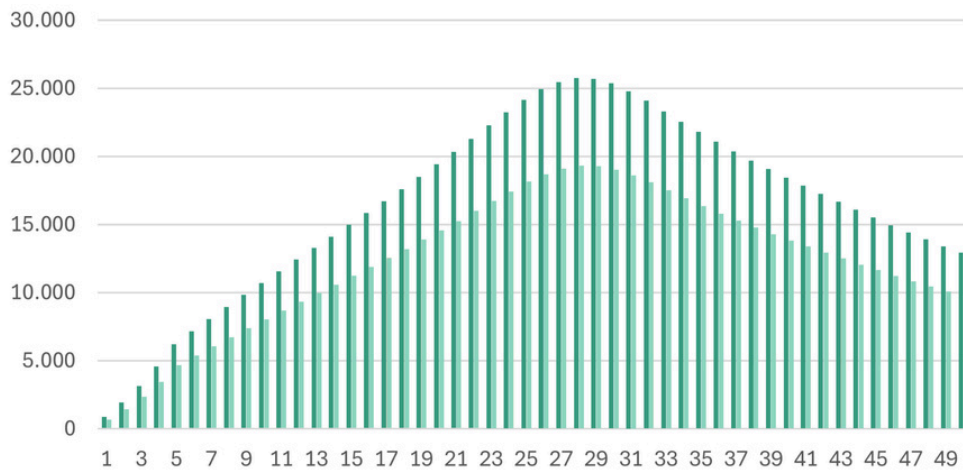


Figura 16: Estimación de generación de créditos. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Distribución del costo unitario restauración.

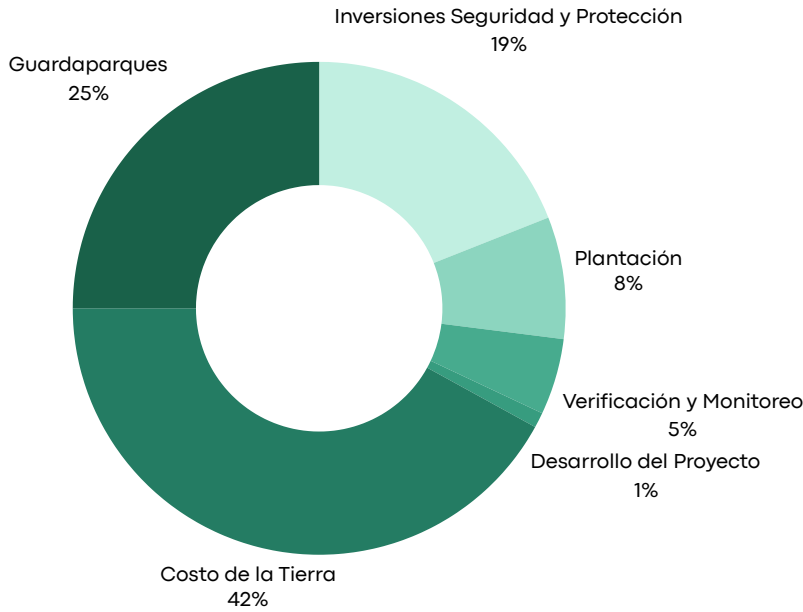


Figura 17: Distribución del costo unitario restauración. Fuente: Elaboración propia.

Resultados

Flujo de inversión restauración (USD).

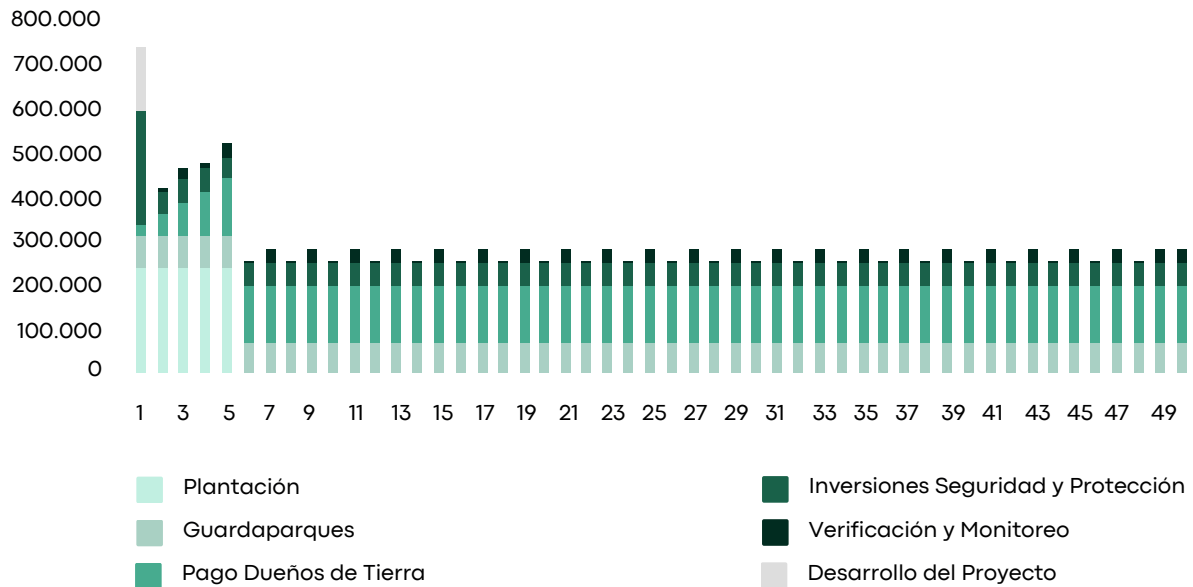


Figura 18: Flujo de inversión restauración. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de Prefactibilidad dan como resultado una generación de 600.000 créditos de carbono en los 50 años de proyecto, promediando un total de 12.000 créditos anuales y un factor de 7,6 VCU/hectárea/ año. La figura de "Estimación de generación de créditos" muestra las estimaciones de las capturas totales estimadas y la generación de créditos de carbono una vez realizados los descuentos correspondientes.

Respecto de los flujos de inversión del proyecto, estos están concentrados mayormente en los primeros cinco años, en los cuales se realiza la plantación de suplementación para iniciar la restauración de las 1.600 hectáreas, junto con las inversiones para la instalación de los guardaparques e infraestructura de apoyo. En los años siguientes los egresos corresponden principalmente a las remuneraciones de los guardaparques y el pago por el uso de la tierra. Respecto a distribución por ítem de costo, los más relevantes en un proyecto de estas características son los del costo de la tierra donde se habilitará el proyecto y los asociados a la plantación y protección del bosque que se está interviniendo. Los costos de desarrollo del proyecto, tales como: Diseño del proyecto, Prefactibilidad y PDD y los costos asociados a la verificación y monitoreo, son alrededor de un 6 a un 8%, aunque eso depende en gran medida del tamaño del proyecto, el programa de certificación escogido y el costo de la asesoría de terceros.

4.2. Caso 2: Proyecto de gestión de gas de vertedero de la Curva de Rodas y La Pradera (Colombia)

El proyecto tiene como objetivo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a través de la implementación de un sistema avanzado de captura y quema de metano en los vertederos de Curva de Rodas y La Pradera en la región noroccidental de Colombia, cerca del área metropolitana de Medellín. Este esfuerzo se alinea con los requisitos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y cumple con los criterios nacionales de desarrollo sostenible de Colombia.

4.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Objetivo y Ubicación

El proyecto se centra en la captura y quema de metano, un gas de alto impacto en el cambio climático, generado por la descomposición de residuos orgánicos en vertederos sin tratamiento de gas eficiente. Las instalaciones incluyen el vertedero Curva de Rodas, cerrado en 2003 y que ha acumulado aproximadamente 8,5 millones de toneladas de residuos en sus 33 hectáreas de área de disposición, y el vertedero La Pradera, operativo desde 2003 y compuesto por tres módulos: La Carrilera, La Música y Altair. La Pradera tiene licencia para aceptar alrededor de 3,5 millones de toneladas de residuos en el módulo La Música y 6,5 millones en el módulo Altair, con una proyección de cierre para el año 2027. Ambos vertederos reciben residuos de municipios del área metropolitana de Medellín, entre ellos Medellín, Bello, Barbosa, Itagüí, y otros.

FISICAL LOCATION OF CURVA DE RODAS LANDFILL

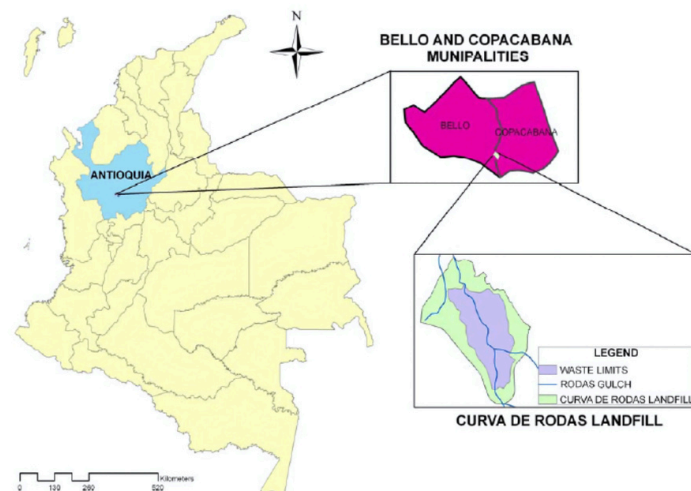


Figura 19: Plano general de ubicación de proyecto. Fuente: PPD de proyecto (CDM)

4.2.2. Descripción Técnica y Tecnología Implementada

Captura y Quema de Biogás

El proyecto establece un sistema de extracción de biogás que captura el metano y lo transporta mediante tuberías a estaciones de quema cerradas y de alta eficiencia. En estas estaciones, el metano es quemado a temperaturas superiores a 1000 °C, con una eficiencia de destrucción del 99,99%. El sistema incluye:

- **Pozos de extracción:** Se instalan aproximadamente 80 pozos nuevos en Curva de Rodas y 16 en el área del depósito cerrado La Carrilera en La Pradera, con profundidades de hasta 30 metros en Curva de Rodas y 20 metros en La Pradera. Cada pozo cuenta con una capa de grava y un sistema de tuberías de HDPE (polietileno de alta densidad).
- **Red de transporte de gas:** Las tuberías de recolección están instaladas con una inclinación para evitar acumulación de agua y condensados, dirigiendo el biogás capturado hacia las estaciones de quema.
- **Sistema de quema cerrada:** Las estaciones de quema emplean tecnología europea avanzada, cumpliendo con las normativas de la UE. El diseño incluye controles de presión, temperatura y monitoreo del contenido de metano, oxígeno y otros gases para asegurar la operación eficiente del sistema.

El sistema también incorpora métodos para manejar el lixiviado, el cual en La Pradera se trata en estanques de oxidación y en Curva de Rodas se dirige a una planta de tratamiento de aguas municipales.

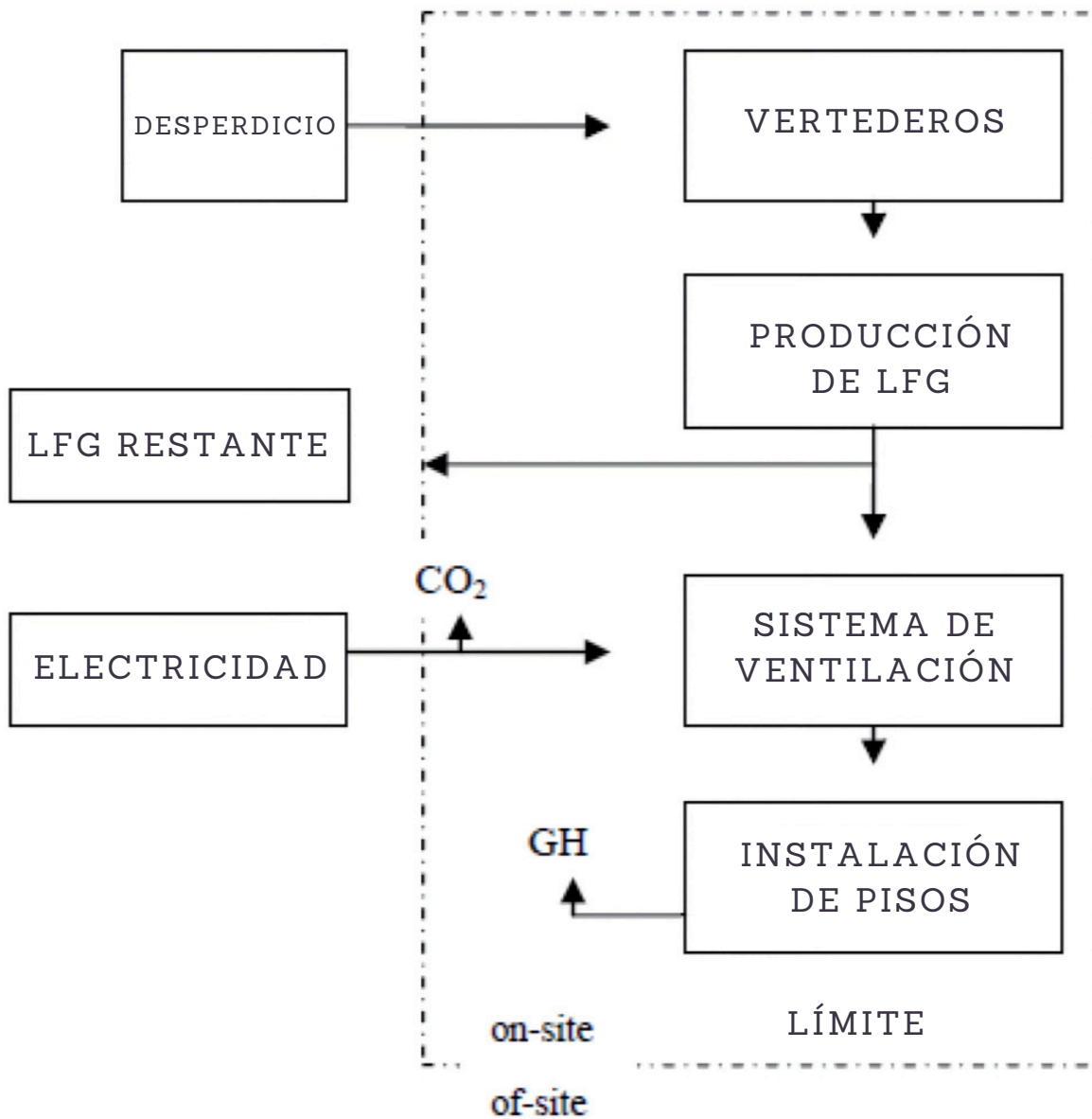


Figura 20: Definición de límites del proyecto. Fuente: PPD de proyecto (CDM).

- **Proyección de Gas y Vida Útil**

El diseño del sistema contempla la duración del proyecto a lo largo de 21 años, en paralelo con la operación de La Pradera, prevista hasta 2027. Durante este tiempo, el sistema de captura se ampliará al módulo Altair de La Pradera. La producción de gas se estima que será suficiente para mantener el sistema operativo por al menos 25 años, ya que la descomposición de residuos genera gas en etapas de corto, mediano y largo plazo.

4.2.3. Impacto en la Reducción de Emisiones

- **Cálculo de Reducción de Emisiones.**

Las reducciones de emisiones se calculan mediante una metodología de línea base, tomando en cuenta la emisión de metano en un escenario sin intervención, donde la mayoría del gas se libera a la atmósfera. Las emisiones evitadas se calculan según el método de descomposición de primer orden, proyectando una reducción total de aproximadamente 1.171.245 toneladas de CO₂ equivalente en un periodo de acreditación inicial de 7 años.

- **Comparación de Escenarios**

En el escenario base, el gas de vertedero es recolectado pasivamente en pozos de ventilación que queman el metano de forma irregular y con baja eficiencia. La tecnología implementada en el proyecto presenta una gran mejora en la eficiencia de captura y quema, con un sistema controlado de pozos de extracción y quema cerrada que asegura una destrucción casi completa del metano.

AÑOS	ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE LA ACTIVIDAD DEL PROYECTO (t CO2 e)	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE BASE (t CO2 e)	ESTIMACIÓN DE FUGAS (t CO2 e)	ESTIMACIÓN DE LA REDUCCIÓN GLOBAL DE EMISIONES (t CO2 e)
2008 (Oct 15-Dic 31)	152	30.078	0	29.926
2009	726	182.580	0	181.854
2010	726	221.212	0	220.486
2011	726	211.775	0	211.049
2012	726	171.675	0	170.949
2013	726	144.053	0	143.327
2014	726	124.934	0	124.208
2015 (Ene 1 - Oct 14)	575	90.022	0	89.447
TOTAL (t CO2 e)	5.084	1.176.329	0	1.171.245

Figura 21: Cálculo de emisiones netas del proyecto. Fuente: PPD de proyecto (CDM).

El proyecto contribuye a la sostenibilidad de varias maneras:

- 1. Mejora de las condiciones sanitarias y reducción de olores:** La captura y quema de gas de vertedero disminuye significativamente el olor y el riesgo de incendios en las áreas circundantes, mejorando la calidad de vida de las comunidades.
- 2. Reducción del riesgo de deslizamientos:** La extracción de gas disminuye la presión interna en el vertedero, reduciendo el riesgo de colapso de las capas de desechos.
- 3. Impacto en el empleo local:** Se priorizará la contratación de proveedores y contratistas locales siempre que sea posible, promoviendo el empleo y el desarrollo económico local.
- 4. Inversión en educación:** Parte de los ingresos obtenidos de la venta de los CER se destinarán a promover la investigación en la Universidad de Antioquia, mejorando las oportunidades de investigación en áreas de sostenibilidad y cambio climático. Además, la universidad utilizará el proyecto como una instalación de capacitación para estudiantes de ingeniería.

El monitoreo del proyecto sigue rigurosas normas del MDL y se centra en parámetros como el flujo de gas, la fracción de metano en el biogás y el consumo eléctrico.

El plan de monitoreo incluye:

- Medición de la cantidad total de gas capturado mediante un medidor de flujo en los pozos de extracción y en las estaciones de quema.
- Evaluación de la calidad del gas usando analizadores de gases que miden la fracción de metano y otros gases en el biogás, garantizando que el gas quemado en las estaciones sea de calidad adecuada.
- Monitoreo del consumo eléctrico para calcular las emisiones indirectas por el uso de electricidad en el sistema de extracción.

El sistema también mide la eficiencia de la quema y calcula las emisiones del proyecto, considerando variables como la eficiencia de las estaciones de quema y los factores de corrección para la eficiencia de captura.

4.2.4. Impacto en el Desarrollo Sostenible

4.2.5. Metodología de Monitoreo y Evaluación

4.2.6. Análisis de adicionalidad y barreras financieras

El proyecto fue evaluado mediante la herramienta de adicionalidad del MDL, que determina que no existen incentivos financieros o regulatorios en Colombia para la implementación de sistemas de quema de alta eficiencia sin los ingresos derivados de créditos de carbono. Las alternativas consideradas incluyen:

- **Escenario sin intervención:** Continuación del sistema de quema pasiva y eventual emisión de metano sin un sistema eficiente.
- **Implementación sin generación de créditos:** No es viable debido a barreras financieras, ya que el proyecto requiere ingresos de la venta de créditos de carbono.
- **Generación de energía eléctrica a partir del biogás:** Esta opción es financieramente inviable en Colombia debido a los bajos precios de la electricidad, los cuales no cubren los altos costos de infraestructura necesarios para la generación y conexión a la red.

Con el escenario actual, la opción más probable es que el metano siga siendo emitido sin tratamiento adecuado, lo que hace que el proyecto sea adicional en términos de sus beneficios ambientales. La siguiente figura muestra el análisis económico del proyecto, el cual demuestra que el proyecto no tiene viabilidad económica por sí mismo sin los ingresos adicionales del proyecto de créditos de carbono.

Item	Specification	La Pradera		Curva de Rodas		Total	
		Value	Unit	Value	Unit	Value	Unit
Flaring Investment	Gas system	728.000	Euro	1.170.000	Euro	1.898.000	Euro
	Blowers/Flares	369.400	Euro	213.700	Euro	583.100	Euro
Total Flaring without fees		1.097.400	Euro	1.383.700	Euro	2.481.100	Euro
Energy Production Investment	CHP	4.726.000	Euro	2.701.000	Euro	7.427.000	Euro
	Grid Connection	2.542.000	Euro	1.901.000	Euro	4.443.000	Euro
Total Energy Production without fees		7.268.000	Euro	4.602.000	Euro	11.870.000	Euro
Total INVESTEMENT without fees		8.365.400	Euro	5.985.700	Euro	14.351.100	Euro
Fees		836.540	Euro	598.570	Euro	1.435.110	Euro
Total INVESTMENT with fees		9.201.940	Euro	6.584.270	Euro	15.786.210	Euro
NPV @ 10%		- 9.706.221	Euro	- 7.222.818	Euro		
IRR		<0	%	<0	%		
Payback period		not paid back	Years	not paid back	years		
Project Lifetime		10	Years	10	years		
Electrical Feed-in-Tariff		0,03	Eur/kWh	0,03	Eur/kWh		

Figura 22: Análisis de Inversión. Fuente: PPD de proyecto (CDM).

La adicionalidad financiera en un proyecto de carbono es el concepto que determina si el proyecto es viable únicamente gracias al financiamiento adicional derivado de la venta de créditos de carbono, y no por otros motivos financieros o regulatorios.

Para que un proyecto de carbono sea considerado adicional según las normas del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) o de otros estándares de carbono, debe demostrarse que:

- 1. No sería rentable o económicamente viable sin los ingresos adicionales de la venta de créditos de carbono:** Esto significa que los costos de implementación y operación del proyecto exceden los beneficios financieros que generaría en condiciones normales, sin considerar los ingresos de los créditos de carbono.
- 2. Existen barreras financieras** que el proyecto no podría superar sin los ingresos adicionales de los créditos de carbono. Las barreras pueden ser, por ejemplo:
 - Costos de inversión altos comparados con alternativas convencionales.
 - Falta de incentivos fiscales o subsidios locales que apoyen el tipo de tecnología o actividad del proyecto.
 - Falta de acceso a financiamiento privado debido a altos riesgos percibidos.
- 3. El proyecto depende de la venta de créditos de carbono para mejorar su rentabilidad o alcanzar un umbral de retorno aceptable:** En los estudios de adicionalidad, esta dependencia suele demostrarse con análisis financieros que incluyen proyecciones de retorno de inversión (ROI) o tasa interna de retorno (TIR), tanto con o sin los ingresos por créditos de carbono. Si el proyecto solo alcanza una rentabilidad aceptable gracias a los ingresos de los créditos de carbono, se considera adicional.

La adicionalidad financiera es una condición que evalúa si los créditos de carbono son el factor clave que permite la existencia del proyecto. Sin estos ingresos adicionales, el proyecto no sería financieramente viable, no se llevaría a cabo o se realizaría de una manera menos eficiente en términos de reducción de emisiones de carbono.

El proyecto es desarrollado por Green Gas Germany GmbH, que provee la tecnología, y la Universidad de Antioquia, que contribuye en investigación y educación. Los ingresos provendrán principalmente de la venta de créditos de carbono y no existen subsidios públicos en Colombia involucrados en su financiamiento. El compromiso con el desarrollo sostenible incluye una asignación de fondos para capacitación en emprendimiento para las comunidades cercanas, promoviendo un impacto social positivo más allá de los objetivos ambientales.

En conclusión, el proyecto Curva de Rodas y La Pradera no solo aborda una importante reducción de emisiones de GEI en Colombia, sino que también promueve beneficios ambientales, sociales y económicos a largo plazo. Además de mejorar la gestión de residuos sólidos y reducir las emisiones, el proyecto sirve como ejemplo de prácticas de gestión sostenible, elevando los estándares de manejo de vertederos en Colombia y fomentando el desarrollo sostenible mediante la transferencia de tecnología y conocimiento.

4.2.7. Actores clave y financiación



Cierre

Esta guía ha sido desarrollada como una herramienta fundamental para guiar el diseño y la implementación de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en el marco del Sistema de Compensación de Emisiones (SCE) en Chile. En un contexto en que la acción climática es urgente y necesaria, esta guía busca orientar a desarrolladores y gestores en cada paso del ciclo de vida de un proyecto de reducción de carbono, desde su concepción inicial hasta la emisión de créditos validados.

La adopción de estos lineamientos no solo contribuye al cumplimiento de los objetivos ambientales y regulatorios del país, sino que también fortalece el compromiso de las empresas y organizaciones con la sostenibilidad y la responsabilidad climática. Cada proyecto implementado bajo los programas de certificación descritos en esta guía representa un paso hacia un Chile más resiliente y comprometido con los acuerdos globales, como el Acuerdo de París.

Se invita a los desarrolladores de proyectos a aprovechar al máximo los recursos y metodologías aquí presentados, a colaborar con actores clave en la implementación de estos proyectos y a ser parte activa en la transición hacia una economía baja en carbono. De esta forma, podrán contribuir significativamente a la mitigación de los efectos del cambio climático y a la construcción de un futuro sostenible para las próximas generaciones.

Agradecimientos

Los autores de este documento agradecen a todas las personas y entidades que participaron en la elaboración de esta guía, cuyo conocimiento y experiencia fueron esenciales para consolidar una herramienta completa y práctica para el desarrollo de proyectos de reducción de emisiones en Chile.