

MEJORA DE LA CONTRIBUCIÓN DEL SECTOR FORESTAL A LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Metodología de proyectos de gestión forestal
mejorada por prolongación de turnos

ENERO 2025



El proyecto eco2for cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea NextGenerationEU



Esta metodología ha sido desarrollada por:



Fundación Centro Tecnológico y Forestal de la Madera (CETEMAS)

En colaboración con:



Preferred by Nature

Contenido

1. Antecedentes/Justificación/Introducción	2
2. Referencias	3
3. Descripción de la metodología	3
4. Definiciones y acrónimos	3
5. Alcance y condiciones de aplicabilidad	6
6. Establecimiento de límites del proyecto	6
6.1. Límites temporales	6
6.2. Límites geográficos	7
6.3. Fuentes y reservorios de GEI	7
7. Línea base y adicionalidad	8
8. Cuantificación de las emisiones, reducciones y absorciones de GEI	10
8.1. Ecuación general: absorciones netas totales de GEI en un periodo de tiempo	10
8.1.1. Absorciones netas de GEI en el escenario de proyecto	11
8.1.2. Absorciones netas de GEI en la línea base	21
8.1.3. Fugas	22
8.2. Resumen de las absorciones netas anuales de GEI	22
8.3. Absorciones netas de GEI promedio a largo plazo	22
8.4. Incertidumbre	23
9. Monitoreo	23
9.1. Plan de monitoreo y su implementación	24
9.1.1. Datos y parámetros monitoreados	24
9.1.2. Datos y parámetros no monitoreados	25
10. Medidas para el monitoreo de la biodiversidad	28
11. Contribución de absorciones a la bolsa de garantía	28

INFORMACIÓN DEL DOCUMENTO

PROYECTO BF138- CONVOCATORIA BIOECONOMÍA FORESTAL 2023	
Título del proyecto	Mejora de la contribución del sector forestal a la lucha contra el cambio climático
Acrónimo del proyecto	eco2for
Título acción	A1 Elaboración de nuevas metodologías de gestión forestal mejorada
Título subacción	A.1.2. Diseño y elaboración de metodología de proyectos de GFM por prolongación de turnos
Duración	M3-M13
Código resultado	R 1.2
Nombre del entregable	Metodología de proyectos de GFM por prolongación de turnos
Entidad coordinadora de la acción	CETEMAS
Entidad coordinadora de la subacción	CETEMAS

Metodología de Gestión Forestal Mejorada por prolongación de turnos

1. Antecedentes/Justificación/Introducción

Este documento contiene una metodología para proyectos de Gestión Forestal Mejorada (GFM) para actividades de proyecto que conlleven un alargamiento del turno en masas forestales gestionadas.

La metodología ha sido desarrollada en el seno del proyecto MEJORA DE LA CONTRIBUCIÓN DEL SECTOR FORESTAL A LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO (eco2for). El proyecto eco2for está coordinado por el Foro Bosques y Cambio Climático y se enmarca en la convocatoria de subvenciones para el apoyo a proyectos transformadores para la promoción de la bioeconomía ligada al ámbito forestal y la contribución a la transición ecológica en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea (NextGenerationEU para el ejercicio 2023).

El objetivo de la acción A1 del proyecto eco2for es el desarrollo de nuevas metodologías de cálculo para incorporar la GFM como una nueva tipología de proyectos forestales de absorción de CO₂. Esta acción está coordinada por la Fundación Centro Tecnológico y Forestal de la Madera (CETEMAS), y como entidades participantes cuenta con El Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) y la Fundación Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León (CESEFOR). Además, para el desarrollo de la acción A1 se ha contado con la colaboración de Preferred by Nature (NEPCon Spain S.L.).

Esta metodología es el resultado R1.2 de la Subacción A.1.2. Diseño y elaboración de metodología de proyectos de GFM por prolongación de turnos, enmarcada en la acción A1 del proyecto eco2for. Está elaborada para ser aplicada junto con las herramientas de cálculo de gestión forestal mejorada desarrolladas en el marco del proyecto (Acción 2, Subacción A.2.1).

Esta metodología puede ser aplicable para proyectos de gestión forestal mejorada desarrollados en el marco del Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

2. Referencias

Esta metodología ha sido elaborada tomando como referencia los siguientes documentos y metodologías:

- Información sobre la sección de proyectos de absorción de dióxido de carbono (Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono) v11, marzo 2024. Oficina Española de Cambio Climático.
- Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono, v5, marzo 2024. Oficina Española de Cambio Climático.
- Calculadora de proyectos de absorción de dióxido de carbono, v6, Oficina Española de Cambio Climático.
- Methodology for Improved Forest Management through extension of rotation AGE (VM0003), v1.3. Verified Carbon Standard, Verra.
- AR-ACM0003: Afforestation and reforestation of lands except wetlands (AR-ACM0003), v2. Clean Development Mechanism.
- The Acorn Framework for voluntary, ex-post, agroforestry, carbon removal units, v1.0. September 2021. Acorn. Coöperatieve Rabobank U.A.
- A/R Small-Scale Methodology: Afforestation and reforestation Project activities implemented on lands other than wetlands” (AR-AMS0007), v 03.1. CDM. United Nations Framework Convention on Climate Change.
- Méthode conversion de taillis en futaie sur souches, v2. Julio 2020. Label Bas Carbone.
- Indice de Biodiversité Potentielle (IBP), 2022. Manuel et guide d'utilisation. Centre National de la Propriété Forestière (CNPFF).
- Aplicación VALDIFOR para la valoración de la biodiversidad de proyectos de absorción forestal. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA-CSIC).

3. Descripción de la metodología

Esta metodología cuantifica las reducciones de emisiones y las absorciones de GEI generadas por prácticas de gestión forestal mejoradas por el alargamiento del turno de masas forestales gestionadas. El alargamiento del turno de corta en los sistemas forestales es un mecanismo que contribuye a la presencia de individuos de mayor edad y tamaño, y en consecuencia al aumento de la biomasa, así como de otros reservorios de carbono, y por tanto a la mitigación del cambio climático.

4. Definiciones y acrónimos

Actividad del proyecto: Conjunto de tecnologías, medidas y/o resultados, especificados en la metodología aplicada al proyecto, que cambian las condiciones identificadas en la línea base y que producen reducciones de emisiones de GEI o absorciones de CO₂.

Absorciones netas anuales de carbono: Absorciones de carbono producidas en los reservorios descontando las posibles emisiones por las fuentes.

Adicionalidad: Criterio de elegibilidad mediante el cual se debe demostrar que el desarrollo del proyecto debe producirse, más allá de los requisitos legales, debido al efecto incentivador de la mitigación del cambio climático.

Aprovechamiento de madera: Conjunto de operaciones que consisten en la extracción y transporte de los productos forestales maderables de las masas forestales para ponerlos a disposición de la industria forestal. Los aprovechamientos engloban distintos tratamientos en las masas forestales como claras o cortas.

Árbol: Planta leñosa con un diámetro a la altura del pecho (1,30 m sobre el nivel del suelo) superior a 5 cm. Las especies arbustivas no se consideran bajo esta definición de árbol para esta metodología.

Área del proyecto: Área geográfica en la que se implementan las actividades del proyecto.

Bosque: Superficie mínima de tierras igual o superior a 1 hectárea con una cubierta mínima de copas (o una densidad de población equivalente) superior al 20% y con árboles que pueden alcanzar una altura mínima 3 metros a su madurez in situ.

Cálculo ex ante: Cálculos a futuro en base a estimaciones del crecimiento de las especies para el periodo de permanencia del proyecto. El resultado de la estimación permite conocer con antelación y de manera aproximada las absorciones que se espera que genere el proyecto.

Cálculo ex post: Cálculos en base a datos reales de la masa forestal en un momento concreto. El resultado de la estimación dará información sobre las absorciones que realmente han tenido lugar en el proyecto en el momento del cálculo.

Carbono orgánico del suelo (COS): Carbono que permanece en el suelo después de la descomposición parcial de cualquier material producido por organismos vivos siendo el componente principal de la materia orgánica del suelo.

Clara: Corta que se hace en un rodal regular, en estado de latizal o fustal, con el objetivo de mejorar la estabilidad y calidad de la masa forestal, eliminando los árboles peor formados, pudiendo obtener productos maderables, controlando la composición específica y favoreciendo el crecimiento de los árboles que permanecen tras ella.

Corta a hecho: Corta de regeneración que consiste en la extracción total (>90%) y simultánea de todos los árboles que forman el rodal forestal.

Corta por aclareo sucesivo: Corta de regeneración que no afecta a la totalidad de los árboles que forman el rodal forestal.

Entresaca: Corta de árboles distribuidos por todo el rodal forestal que da origen a una masa con árboles de todas las edades mezclados (masa irregular).

Fecha de inicio: Fecha a partir de la cual el proyecto comienza su implementación y se empiezan a generar créditos de carbono.

Fugas: Aumento de las emisiones de GEIs por fuentes o disminución de las reservas de carbono, que se produce fuera de los límites de la actividad del proyecto, como resultado de su ejecución.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

Gestión Forestal Mejorada (GFM): Prácticas de gestión forestal que mantienen o aumentan las reservas de carbono de los bosques.

Hojasasca: Capa superior de un suelo forestal de restos orgánicos, compuesta básicamente de materias vegetales recién caídas o ligeramente descompuestas, principalmente hojas, pero también fragmentos de corteza, ramitas, flores, etc.

Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medida que caracteriza la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente a la cantidad medida.

Incremento Anual de Volumen con Corteza (IAVC): Variable forestal que expresa el crecimiento del volumen de madera del árbol, incluyendo la corteza del fuste, referido a un periodo de un año.

Inventario: Recolección sistemática de datos sobre las existencias del área del proyecto de carbono que cumpla con la normativa nacional o autonómica vigente.

Línea base: Escenario de referencia de un proyecto que representa la situación real que se produciría si no se realizase el proyecto propuesto, en el lugar del mismo y durante el tiempo proyectado para el mismo.

Madera muerta: Fracción de madera existente en un bosque proveniente de árboles enteros o partes de ellos que están muertos y pueden estar tanto en pie como tumbados en el suelo.

PALP: Promedio de absorciones a largo plazo.

Periodo de permanencia: periodo de tiempo, expresado en años, durante el cual el promotor del proyecto se compromete a cumplir con el proyecto establecido y a garantizar su perduración.

Posibilidad del monte: Cantidad máxima de recursos forestales (productos de madera u otros) que se pueden extraer de un monte de manera sostenible, sin afectar su capacidad de regeneración ni su equilibrio ecológico a largo plazo

Productos de madera: Derivados obtenidos a partir de la madera que los montes aportan tras su aprovechamiento.

Reservorio de carbono: Depósito o almacén de carbono que puede funcionar como fuente o como sumidero. Un reservorio puede ser un sumidero de carbono atmosférico si, durante un intervalo de tiempo determinado, es mayor la cantidad de carbono que entra en él que la que sale de él.

Restos de corta: Residuos de biomasa muerta que quedan en el suelo del bosque después de la extracción de la madera.

Turno de corta: Número planificado de años entre la repoblación o regeneración de una masa forestal y su corta final.

5. Alcance y condiciones de aplicabilidad

Esta metodología se aplica a prácticas de GFM que impliquen un cambio en el objetivo de la gestión forestal, implicando un alargamiento del turno de corta.

Es aplicable bajo las siguientes condiciones:

1. El área de proyecto se califica como bosque.
2. Existen aprovechamientos de madera en la línea base con un turno definido.
3. Existe un instrumento de gestión aprobado por la administración competente que incluye la definición del turno de corta en la línea base.
4. Existe un inventario forestal actualizado (máximo 10 años previo al inicio del proyecto).
5. La masa forestal del área de proyecto está formada por especies nativas o naturalizadas, sin incluir en ningún caso especies recogidas en el Catálogo Español de Especies Invasoras.
6. La fecha de inicio del proyecto debe coincidir con el momento en el que se cumple el turno de corta establecido en el plan de gestión en la línea base.
7. La GFM en el escenario de proyecto:
 - a) Implica aprovechamientos de madera con un turno definido y superior al de la línea base.
 - b) Las actividades de proyecto incluyen modelos selvícolas que consideren prácticas de gestión forestal sostenible y aprovechamientos de madera (ej. clareos, claras y cortas a hecho).
8. Las actividades del proyecto mantienen o mejoran la biodiversidad en el área de proyecto.
9. Referentes a fuentes, reservorios y fugas:
 - a) La madera muerta (MM) en la línea base se reduce más o crece menos que en el escenario de proyecto.
 - b) Los productos de madera (PM) en el escenario de proyecto tienen una vida útil o se producen en una cantidad igual o mayor que en la línea base.
 - c) No se realiza quema de biomasa como parte de la gestión.
 - d) El uso de fertilizantes en el escenario de proyecto es igual o menor que el uso de fertilizantes en la línea base.
 - e) La perturbación del suelo en el escenario de proyecto es igual o menor que la perturbación en el suelo en la línea base.
 - f) No hay aumento emisiones de GEI o reducción en las existencias de carbono, fuera del área de proyecto debidas a la actividad de proyecto.

6. Establecimiento de límites del proyecto

6.1. Límites temporales

Se debe definir un periodo de permanencia en el escenario de proyecto, que debe ser como mínimo de 30 años.

6.2. Límites geográficos

El proyecto debe estar localizado en territorio nacional (España).

- Los límites del proyecto se deben definir utilizando cartografía en formato de Sistema de Información Geográfica (SIG) y descripción legal del terreno en el que se localiza.
- El área del proyecto puede ser una superficie continua o puede estar formada por áreas separadas.
- Cada parcela que forme parte del proyecto debe tener una única identificación geográfica (referencia catastral) y se debe definir utilizando cartografía en formato SIG.
- El promotor del proyecto debe demostrar la titularidad de la tierra, el derecho sobre las absorciones de carbono y la gestión forestal de cada área que forme parte del proyecto.

6.3. Fuentes y reservorios de GEI

Los reservorios de carbono incluidos o excluidos dentro de los límites del proyecto se recogen en la siguiente tabla (Tabla 1):

Tabla 1 Selección de reservorios de carbono

Reservorio	Selección	Justificación
Biomasa aérea (BA)	Sí	Se espera que la BA se incremente debido a la actividad de proyecto
Biomasa subterránea (BS)	Sí	Se espera que la BS se incremente debido a la actividad de proyecto
Madera muerta (MM)	Opcional	Se espera que la MM crezca más o se reduzca menos debido a la actividad de proyecto. La cuantificación de carbono en la MM puede ser excluido de la contabilidad de absorciones bajo un enfoque conservador. Esta metodología proporciona una metodología para cuantificar el carbono almacenado en la MM.
Hojarasca (H)	No	Los cambios en las existencias de carbono en la hojarasca debidas a la actividad de proyecto se consideran insignificantes y bajo un enfoque conservador no se contabilizan.
Carbono orgánico en suelo (COS)	No	Los cambios en las existencias de carbono en suelo debidas a la actividad de proyecto se consideran insignificantes y bajo un enfoque conservador no se contabilizan.
Productos de madera (PM)	Opcional	Se espera que el carbono almacenado en los PM sea mayor (mayores en cantidad o mayor vida

		útil) en el escenario de proyecto, en comparación con la línea base. La cuantificación de carbono en los PM puede ser excluido de la contabilidad de absorciones bajo un enfoque conservador. Esta metodología proporciona una metodología para cuantificar el carbono almacenado en los PM.
--	--	--

Las fuentes de emisión incluidas o excluidas de los límites del proyecto, tanto en la línea base como en el escenario de proyecto se muestran en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2 Selección de Fuentes de emisión

Fuentes	Gas	Selección	Justificación
Quema de biomasa	CO ₂	No	En el escenario de proyecto no se permite la quema de biomasa. En la línea base se consideran insignificantes.
	CH ₄	No	Ídem CO ₂ .
	N ₂ O	No	Ídem CO ₂ .
Uso de fertilizantes	CO ₂	No	El uso de fertilizantes en el escenario de proyecto es igual o menor que el uso de fertilizantes en la línea base
	CH ₄	No	Ídem CO ₂ .
	N ₂ O	No	Ídem CO ₂ .

7. Línea base y adicionalidad

Para demostrar la línea base y la adicionalidad del proyecto, se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1. Identificar la línea base del proyecto

La línea base del proyecto es fundamental para garantizar la adicionalidad de las absorciones de CO₂ generadas a través de la gestión forestal. Se debe demostrar que: el proyecto sirve para incrementar las absorciones de CO₂ debido a la actividad humana, contribuyendo a la mitigación del cambio climático; y que la línea base del proyecto no es el escenario de proyecto.

Para ello se debe identificar el escenario de línea base de gestión forestal que se realiza alternativo a la actividad propuesta del proyecto.

Se deben definir las prácticas de aprovechamiento forestal que se mantendrían en el área del proyecto sin la actividad del proyecto de carbono. La descripción de estas prácticas debe considerar, al menos, los siguientes elementos de la gestión forestal:

- (a) Datos identificativos del monte,
- (b) Especies principales objetivo del aprovechamiento,
- (c) Posibilidad del monte,
- (d) Turnos de corta o rotación,
- (e) Modelo selvícola,
- (f) Plan de aprovechamiento, incluyendo su planificación en el espacio y en el tiempo:
 - Año/s previsto de aprovechamiento de la madera
 - Rodal, parcela
 - Volumen de corta previsto

La definición de las prácticas de aprovechamiento forestal se debe justificar mediante la presentación del plan de gestión forestal aprobado o en proceso de tramitación por la autoridad competente.

Si no es posible identificar la línea base, no se puede aplicar esta metodología.

Paso 2. Demostrar la adicionalidad del proyecto

El proyecto será adicional si sus absorciones netas de CO₂ son mayores que las que se producirían sin intervención del proyecto, gracias a la intervención humana, y si se desarrolla gracias a la contribución del mismo a la mitigación del cambio climático.

Para demostrar de manera simplificada la adicionalidad del proyecto se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a) El proyecto va más allá de las obligaciones legales y las prácticas actuales.**
- b) El proyecto no cuenta con financiación pública, no vinculada al carbono, para el desarrollo de su actividad al 100%.** El promotor del proyecto debe hacer un inventario de las subvenciones públicas a las que puede optar para su proyecto y demostrar que son insuficientes porque:
 - No se ofrece ninguna subvención vinculada a la actividad del proyecto, ya sea a nivel regional o nacional.
 - El proyecto no cumple los criterios de elegibilidad de las ayudas públicas existentes.
 - La ayuda ofrecida es insuficiente en relación con la inversión estimada en el proyecto.
- c) La actividad del proyecto no se habría llevado a cabo de todos modos debido al menos a una de las siguientes barreras:**
 - **Barrera financiera:** el proyecto debe demostrar que no cuenta con financiación suficiente para la implementación del proyecto de carbono.

- **Barrera relacionada con la tradición común:** el proyecto debe demostrar que va más allá de los conocimientos tradicionales, de las leyes y costumbres, de las condiciones del mercado y de las prácticas comunes.

8. Cuantificación de las emisiones, reducciones y absorciones de GEI ¹

8.1. Ecuación general: absorciones netas totales de GEI en un periodo de tiempo

Las absorciones netas totales de GEI en un periodo de tiempo, se calculan como la suma de las variaciones de absorciones netas anuales en ese periodo de tiempo (entre t1 y t2).

$$C_{ABS} = \sum_{t1}^{t2} \Delta C_{ABS,t}$$

Ecuación 1

Donde:

Tabla 3 Parámetros de la Ecuación 1

Símbolo	Descripción	Unidades
C_{ABS}	Absorciones netas totales de GEI, en el periodo de tiempo t2-t1 Contribución total neta del proyecto a la mitigación del cambio climático.	t CO ₂ e
$\sum_{t1}^{t2} \Delta C_{ABS,t}$	Suma de las variaciones de absorciones netas anuales de GEI, en el periodo de tiempo t2-t1	t CO ₂ e

Para calcular la variación de las absorciones netas anuales generadas en un proyecto se deben calcular las generadas en el escenario de **proyecto**, y descontar las de la **línea base** y las potenciales **fugas** (emisiones debidas a la actividad del proyecto que ocurren fuera de los límites de este). La ecuación para estimar esta diferencia, en un año t concreto, es la siguiente:

$$\Delta C_{ABS,t} = \Delta C_{EP,t} - \Delta C_{LB,t} - GEI_{F,t}$$

Ecuación 2

Donde:

Tabla 4 Parámetros de la Ecuación 2

Símbolo	Descripción	Unidades
$\Delta C_{ABS,t}$	Variación de absorciones netas anuales de GEI, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{EP,t}$	Variación de absorciones netas anuales de GEI en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{LB,t}$	Variación de absorciones netas anuales de GEI en la línea base, en el año t	t CO ₂ e/año

¹ Para la cuantificación de las emisiones, reducciones y absorciones de GEI ex ante se ha desarrollado una herramienta de cálculo para ciertas especies en el marco del Proyecto eco2for (incluir link).

$GEI_{F,t}$	Fugas o incremento de emisiones de GEI, fuera de los límites del proyecto, asociadas al desplazamiento de las actividades anteriores al proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
-------------	---	-------------------------

De forma general, las ecuaciones de cálculo de absorciones a lo largo de esta metodología, que se exponen en los apartados posteriores, están establecidas considerando una sola especie. Si en la masa forestal se tiene más de una especie, se deben calcular las absorciones para todos los reservorios considerados (biomasa arbórea aérea y subterránea, madera muerta, productos de la madera) por especie.

8.1.1. Absorciones netas de GEI en el escenario de proyecto

La variación de las absorciones netas de GEI en el escenario de proyecto en un año concreto es la suma de las variaciones en las existencias de carbono en los reservorios de carbono en el año t, menos las emisiones de GEI por las fuentes en ese mismo año. Se deben estimar los cambios en las existencias anuales en cada uno de los reservorios de carbono considerados: árboles, madera muerta, hojarasca, carbono suelo (carbono orgánico) y productos de la madera. Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\Delta C_{EP,t} = \Delta C_{ARBOL,t} + \Delta C_{MM,t} + \Delta C_{PM,t} + \Delta C_{H,t} + \Delta C_{COS,t} - GEI_{EP,t} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Tabla 5 Parámetros de la Ecuación 3

Símbolo	Descripción	Unidades
$\Delta C_{EP,t}$	Variación de absorciones netas anuales de GEI en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{ARBOL,t}$	Variación en las existencias de carbono en la biomasa arbórea en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{MM,t}$	Variación en las existencias de carbono en la madera muerta en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{PM,t}$	Variación en las existencias de carbono en los productos de la madera en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{H,t}$	Variación en las existencias de carbono en la hojarasca en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$\Delta C_{COS,t}$	Variación en las existencias de carbono en el suelo (carbono orgánico) en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año
$GEI_{EP,t}$	Emisiones de GEI resultado de las actividades de gestión forestal en el área de proyecto en el escenario de proyecto, en el año t	t CO ₂ e/año

De acuerdo con las condiciones de aplicabilidad de esta metodología:

- El incremento en las reservas de carbono en la **hojarasca** y en el **suelo**, no se contabilizan, debido a que se consideran poco significativas en relación con el resto de los reservorios y fuentes (Tabla 1).

- El incremento en las reservas de carbono en la **madera muerta** y en los **productos de la madera**, son opcionales, pudiendo no considerarse bajo un enfoque conservador. Queda a elección del desarrollador del proyecto su contabilidad (Tabla 1).
- Las **emisiones** de GEI debidas a la gestión forestal no se contabilizan, pues en el escenario de proyecto no se permite el uso de fertilizantes ni la quema de biomasa como parte de la gestión.

Considerando estos condicionantes metodológicos la ecuación para el cálculo de la variación de absorciones netas anuales de GEI en el escenario de proyecto queda simplificada de la siguiente manera:

$$\Delta C_{EP,t} = \Delta C_{ARBOL,t} + \Delta C_{MM,t} + \Delta C_{PM,t} \quad \text{Ecuación 4}$$

De forma general, para calcular la variación o cambio de las existencias anuales en un reservorio cualquiera se deben conocer las existencias en un momento determinado (t) y en el año anterior (t-1). Mediante el cálculo de la diferencia entre ambos valores se obtiene la variación (incremento o disminución) de existencias:

$$\Delta C_{RESERVORIO,t} = C_{RESERVORIO,t} - C_{RESERVORIO,t-1} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

Tabla 6 Parámetros de la Ecuación 5

Símbolo	Descripción	Unidades
$\Delta C_{RESERVORIO,t}$	Variación en las existencias de carbono en el reservorio, en el año t	t CO ₂ e/año
$C_{RESERVORIO,t}$	Existencias o reservas de carbono en un reservorio, al final del año t	t CO ₂ e
$C_{RESERVORIO,t-1}$	Existencias o reservas de carbono en un reservorio, al final del año t-1	t CO ₂ e

8.1.1.1. Variación en las existencias de carbono en la biomasa arbórea

El cálculo del cambio en las reservas de carbono en la biomasa arbórea en un año concreto en el escenario de proyecto se obtiene mediante la aplicación de la ecuación anterior como:

$$\Delta C_{ARBOL,t} = C_{ARBOL,t} - C_{ARBOL,t-1} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

Tabla 7 Parámetros de la Ecuación 6

Símbolo	Descripción	Unidades
$\Delta C_{ARBOL,t}$	Variación en las existencias de carbono en la biomasa arbórea, en el año t	t CO ₂ e/año

$C_{ARBOL,t}$	Existencias o reservas de carbono en la biomasa arbórea, al final del año t	t CO ₂ e
$C_{ARBOL,t-1}$	Existencias o reservas de carbono en la biomasa arbórea, al final del año t-1	t CO ₂ e

La conversión de materia seca (m.s.) a dióxido de carbono equivalente (CO₂e) de la biomasa aérea se realiza utilizando factores de conversión mediante la siguiente ecuación:

$$C_{ARBOL,t} = B_{ARBOL,t} \times FC_{ARBOL} \times \frac{44}{12} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

Tabla 8 Parámetros de la Ecuación 7

Símbolo	Descripción	Unidades
$C_{ARBOL,t}$	Existencias o reservas de carbono en la biomasa arbórea, al final del año t	t CO ₂ e
$B_{ARBOL,t}$	Existencias de biomasa arbórea, en el año t	t m.s.
FC_{ARBOL}	Fracción de carbono en la biomasa arbórea	t C / t m.s.
$\frac{44}{12}$	Proporción molecular, para pasar de carbono a dióxido de carbono. Relación entre sus masas moleculares.	t CO ₂ e / t C

Las existencias de biomasa arbórea se obtienen como la suma de existencias de biomasa aérea (tronco, ramas y copa) y en la biomasa subterránea (raíces), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$B_{ARBOL,t} = BA_t + BS_t \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

Tabla 9 Parámetros de la Ecuación 8

Símbolo	Descripción	Unidades
$B_{ARBOL,t}$	Existencias de biomasa arbórea, en el año t	t m.s.
BA_t	Existencias de biomasa aérea, en el año t	t m.s.
BS_t	Existencias de biomasa subterránea, en el año t	t m.s.

Biomasa aérea

Las existencias de biomasa aérea se calculan por estratificación de la superficie de proyecto en superficies homogéneas de gestión, superficies que tengan el mismo calendario de corta dentro del área de proyecto. El cálculo se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

$$BA_t = \sum_i BA_{i,t} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$BA_{i,t} = a_i \times ba_{i,t} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Tabla 10 Parámetros de la Ecuación 9 y la Ecuación 10

Símbolo	Descripción	Unidades
BA_t	Existencias de la biomasa aérea en el escenario de proyecto, en el año t	t m.s.
$BA_{i,t}$	Existencias de la biomasa aérea en el escenario de proyecto en el estrato i, en el año t	t m.s.
a_i	Área del estrato i	ha
$ba_{i,t}$	Existencias medias de la biomasa aérea en el escenario de proyecto, en el estrato i, en el año t	t m.s. / ha

El cálculo de las existencias de la biomasa aérea en un momento determinado (BA_t), es un aspecto clave en la presente metodología, al tratarse del reservorio más relevante en la contribución a la mitigación del cambio climático en este tipo de proyectos.

El cálculo o estimación de la biomasa aérea se realiza de forma diferente ex ante y ex post. No obstante, en ambos casos se parte de la misma situación, el momento de inicio del proyecto, donde el área de proyecto cuenta con unas existencias determinadas. Dichas existencias iniciales ($BA_{t=0}$) deben proceder del último **inventario forestal** del área de proyecto, que no debe tener una antigüedad mayor de 10 años. Cuando no se dispongan de datos de inventario del año de inicio, se deberá actualizar el inventario disponible (realizado no más de 10 años atrás) utilizando los crecimientos de la biomasa hasta el momento actual (por ejemplo, utilizando el Incremento Anual de Volumen con Corteza, IAVC).

Las existencias de biomasa en cualquier otro momento en el tiempo (BA_t) se debe obtener de la siguiente manera:

- **Ex ante:** mediante modelos de crecimiento específicos para la especie y calidad de estación y considerando los **modelos de gestión planificados**. Las existencias de biomasa se deben predecir para toda la vida útil del proyecto y se debe obtener una media a largo plazo. La proyección o modelización de existencias de biomasa se puede obtener de diversas fuentes: modelos de volumen con corteza (con conversión a biomasa mediante factores de expansión existentes en la bibliografía), mediante modelos de biomasa aérea, o mediante otros modelos o proyecciones. Los requisitos para el uso de modelos son los siguientes:
 - Los modelos se utilizan en el inventario forestal nacional o en el inventario nacional de GEI.
 - Los modelos se han sido usados en el sector forestal al menos en los 10 últimos años.
 - Los modelos se han obtenido a partir de un muestreo de más de 30 muestras y la bondad de ajuste de los mismos es mayor al 85%
 - Los modelos se han obtenido de fuentes científicas verificables.

- **Ex post:** mediante la realización de **inventarios de existencias**. Los inventarios se realizarán mediante muestreo o mediante el uso de técnicas de teledetección, siguiendo lo recogido en la herramienta de monitoreo desarrollada en el Proyecto eco2for (ver apartado 9 de este documento) o en su defecto en la herramienta del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL de la CMNUCC23), AR-TOOL 14: Estimación de las existencias y cambios de existencias en árboles y matorrales en proyectos MDL de forestación/reforestación (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities) y en particular:
 - **Apartado 8** Estimación de las existencias de carbono en los árboles en un momento en el tiempo: para la obtención de $BA_t = B_{TREE}$ de la ecuación 13 de la herramienta.
 - **Apéndice 1** Métodos de medición biomasa en parcelas: para la obtención de $ba_{i,t}$.

Para la selección de ecuaciones de biomasa o volumen, se deben seguir las siguientes herramientas del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL):

- Demostración de la idoneidad de las ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea en de los árboles en actividades de proyectos MDL de forestación/reforestación (Demonstrating appropriateness of allometric equations for estimation of aboveground tree biomass in A/R CDM project activities).
- Demostración de la idoneidad de las ecuaciones de volumen para la estimación de la biomasa aérea en de los árboles en actividades de proyectos MDL de forestación/reforestación (Demonstrating appropriateness of volume equations for estimation of aboveground tree biomass in A/R CDM project activities).

Queda exenta la demostración de la idoneidad de las ecuaciones en el caso que se emplee para las estimaciones la herramienta de cálculo desarrollada en el Proyecto eco2for.

Biomasa subterránea

La biomasa almacenada en las raíces (biomasa subterránea) en el escenario de proyecto en el año t se obtiene a partir de la biomasa aérea, como un porcentaje que depende de la especie, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$BS_t = BA_t \times R \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Tabla 11 Parámetros de la Ecuación 11

Símbolo	Descripción	Unidades
BA_t	Existencias de biomasa aérea, en el año t	t m.s.
BS_t	Existencias de biomasa subterránea, en el año t	t m.s.
R	Relación parte aérea-parte subterránea	-

8.1.1.2. Variación en las reservas de carbono en la madera muerta (opcional)

De acuerdo con las condiciones de aplicabilidad de la metodología, el carbono almacenado en la madera muerta puede excluirse de los cálculos bajo un enfoque conservador.

Para esta metodología el carbono almacenado en la madera muerta se obtiene aplicando un porcentaje sobre la biomasa arbórea que expresa el carbono almacenado en la madera muerta como una proporción del carbono almacenado en la biomasa arbórea, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_{MM,t} = C_{ARBOL,t} \times MM \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

Tabla 12 Parámetros de la Ecuación 12

Símbolo	Descripción	Unidades
$C_{MM,t}$	Existencias o reservas de carbono en la madera muerta, al final del año t	t CO ₂ e
$C_{ARBOL,t}$	Existencias o reservas de carbono en la biomasa arbórea, al final del año t	t CO ₂ e
MM	Valor conservador por defecto que expresa las reservas de carbono en la madera muerta como un porcentaje de las reservas de carbono en la biomasa arbórea.	porcentaje

A continuación, se detalla cómo efectuar el cálculo para las estimaciones ex ante y ex post del carbono almacenado en la madera muerta:

- **Ex ante:** los cálculos ex ante de las reservas de carbono en la madera muerta se obtienen aplicando el porcentaje a las existencias ex ante de carbono en la biomasa arbórea, que se han obtenido aplicando la **Ecuación 7 y modelos de crecimiento**. En este caso, como proporción de carbono en la madera muerta se utiliza se utiliza 8%, un valor conservador por defecto definido en Delaney et al. 1997,9 Smith et al. 2006,10 Glenday 2008,11 Keller et al. 2004,12 Eaton and Lawrence 2006,13 Krankina and Harmon 1995,14 and Clark et al 2002:15.
- **Ex post:** los cálculos ex post de las reservas de carbono en la madera muerta se obtienen aplicando el porcentaje a las existencias ex post de carbono en la biomasa arbórea, que se han obtenido aplicando la **Ecuación 7, con datos procedentes de inventarios de existencias**. En este caso se puede aplicar el

valor por defecto utilizado para los cálculos ex ante (8%) o bien se puede seguir el método que se explica en la herramienta del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) AR-TOOL 12: Estimación de las existencias y cambios de existencias de carbono en la madera muerta y la hojarasca para actividades de proyecto MDL de forestación y reforestación (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities).

8.1.1.3. Variación en las reservas de carbono en los productos de madera (opcional)

Al igual que la madera muerta, los productos de la madera pueden ser excluidos de la estimación de las absorciones bajo un enfoque conservador. Para obtener las reservas de carbono en los productos de madera obtenidos a partir de cortas en el área de proyecto se debe seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Cálculo de la biomasa de madera cortada en el área de proyecto

En primer lugar, se estima la biomasa de la madera cortada en el área de proyecto en el escenario de proyecto:

- **Ex ante:** la biomasa de la madera aprovechada en el escenario de proyecto se obtiene al aplicar un porcentaje sobre las existencias de biomasa aérea en el momento de corta, de acuerdo con la ecuación 13:

$$B_{ext,t} = BA_t \times EXT \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

Tabla 13 Parámetros de la Ecuación 13

Símbolo	Descripción	Unidades
$B_{ext,t}$	Existencias de la biomasa aérea de madera extraída en el escenario de proyecto en el año t	t m.s
BA_t	Existencias de la biomasa aérea en el escenario de proyecto, en el año t	t m.s
EXT	Valor que expresa el porcentaje de biomasa extraído en el escenario de proyecto para el año t	%

- **Ex post:** el volumen de madera extraída es un dato que se conoce o se puede estimar en el momento de la corta ($V_{ext,t,sp}$). Se debe transformar a unidades de toneladas de materia seca:

$$B_{ext,t} = V_{ext,t} \times d \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Tabla 14 Parámetros de la Ecuación 14

Símbolo	Descripción	Unidades
$B_{ext,t}$	Existencias de la biomasa aérea de madera extraída en el escenario de proyecto en el año t	t m.s.
$V_{ext,t}$	Volumen de madera extraída en el escenario de proyecto, en el año t, para la especie sp	m ³
d	Densidad de la madera de la especie sp	t/m ³

Paso 2: Cálculo de la biomasa procedente de madera aprovechada en el área de proyecto

Una vez obtenida la biomasa cortada en el área de proyecto, se descuentan los desperdicios y restos de cortas que no se van a aprovechar (copas, ramas y otros restos). Para ello se aplica la siguiente ecuación:

$$B_{apr,t} = B_{ext,t} \times \left(1 - \frac{PER}{100}\right) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

Tabla 15 Parámetros de la Ecuación 15

Símbolo	Descripción	Unidades
$B_{apr,t}$	Existencias de la biomasa de madera aprovechada que se convertirá en productos de madera	t m.s
$B_{ext,t}$	Existencias de la biomasa aérea de madera extraída en el escenario de proyecto en el año t	t m.s
PER	Valor que expresa el porcentaje de biomasa que se pierde en el escenario de proyecto para el año t	%

El valor de **PER** será el mismo para los cálculos *ex ante* y los *ex post*: será u valor por defecto del **19%** de pérdidas de madera, de acuerdo con Winjum et al (Winjum, J. K., Brown, S., & Schlamadinger, B. (1998). Forest harvests and wood products: Sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. Forest Science, 44(2), 272–284)). O bien se podrá utilizar otro valor si se tienen referencias bibliográficas para la especie y región, que se podrá aplicar siempre que se puedan demostrar.

Paso 3: Cálculo de las reservas de carbono en los productos de madera

De acuerdo con Winjum et al (Winjum, J. K., Brown, S., & Schlamadinger, B. (1998). Forest harvests and wood products: Sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. Forest Science, 44(2), 272–284), los productos de madera se pueden categorizar en tres grupos, de acuerdo a su grado de decaimiento/degradación:

- **Productos de vida corta (VC):** madera que se descompondrá en los siguientes 3 años tras la corta (por ejemplo, restos de cortas, madera triturada, pasta de papel).
- **Productos de vida media (VM):** madera cortada que se utilizará para producir productos de madera con una vida útil entre 3 y 100 años desde la fecha de corta (por ejemplo, palets, postes, muebles)
- **Productos de vida larga o larga duración (VL):** madera cortada que se utilizará para producir productos de madera de larga duración, que puede ser considerado como almacén de carbono permanente (por ejemplo, vigas, madera para construcción).

Para cada año en el que se haya extraído madera, la madera aprovechada ($B_{apr,t}$) se debe clasificar en una de las tres categorías mencionadas de acuerdo con la vida útil de los productos para los que se destina esa madera. Se considera que:

- **Los productos de vida corta** no almacenan carbono a largo plazo, ya que se considera que en 3 años la madera se descompone, y por tanto el carbono almacenado en la biomasa terminará siendo emitido a la atmósfera. Por lo tanto, no se considera este reservorio.
- **Los productos de vida media** almacenan carbono a medio plazo, se considera que el carbono almacenado en estos productos decrecerá a razón de 1/20 en los siguientes 20 años desde la corta.
- **Los productos de vida larga** almacenan el carbono de forma permanente, no se consideran pérdidas de carbono para estos productos de madera.

Una vez que se ha categorizado la biomasa de madera aprovechada en estas tres categorías de producto, se calculan las reservas de carbono en los productos de vida media y los de vida larga, dado que los de vida corta se contabilizan como cero.

Estos pasos quedan recogidos en las ecuaciones 16, 17 y 18:

$$C_{PM,t} = VL_t + VM_t \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

Tabla 16 Parámetros de la Ecuación 16

Símbolo	Descripción	Unidades
$C_{PM,t}$	Existencias o reservas de carbono almacenadas en los productos de madera en el área de proyecto, procedente de las cortas de madera, en el año t	t CO ₂
VL_t	Existencias o reservas de carbono que permanece en los productos de madera de vida larga procedente de las cortas del área del proyecto en el año t	t CO ₂

VM_t	Existencias o reservas de carbono que permanece en los productos de madera de vida media procedente de las cortas del área del proyecto en el año t	t CO ₂
--------	---	-------------------

Las existencias de carbono de los **productos de vida larga** se obtienen aplicando un porcentaje de madera que se destina a productos de larga duración, y convirtiendo las toneladas de materia seca en toneladas de dióxido de carbono:

$$VL_t = B_{apr,t} \times f_{VL} \times FC_{ARBOL} \times \frac{44}{12} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

Tabla 17 Parámetros de la Ecuación 17

Símbolo	Descripción	Unidades
VL_t	Existencias o reservas de carbono que permanece en los productos de madera de vida larga procedente de las cortas del área del proyecto en el año t	t CO ₂
$B_{apr,t}$	Existencias de la biomasa de madera aprovechada que se convertirá en productos de madera	t m.s
f_{VL}	Proporción de madera destinada a productos de larga duración	%
FC_{ARBOL}	Fracción de carbono en la biomasa arbórea	t C / t m.s.
$\frac{44}{12}$	Proporción molecular, para pasar de carbono a dióxido de carbono. Relación entre sus masas moleculares.	t CO ₂ e / t C

Las existencias de carbono de los **productos de vida media** se obtienen aplicando un porcentaje de madera que se destina a productos de vida media, multiplicado por la degradación anual de los productos de vida media, de acuerdo con la ecuación 18. La degradación se calcula considerando las pérdidas anuales de carbono desde el momento de corta y durante los 20 años siguientes, a razón de un 5% anual:

$$VM_t = (B_{apr,t} \times f_{VM} \times FC_{ARBOL} \times \frac{44}{12}) \times \frac{(20 - t_h)}{20} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

Tabla 18 Parámetros de la Ecuación 18

Símbolo	Descripción	Unidades
VM_t	Existencias o reservas de carbono que permanece en los productos de madera de vida media procedente de las cortas del área del proyecto en el año t	t CO ₂

$B_{apr,t}$	Existencias de la biomasa de madera aprovechada que se convertirá en productos de madera	t m.s.
f_{VM}	Proporción de madera destinada a productos de vida media	%
FC_{ARBOL}	Fracción de carbono en la biomasa arbórea	t C / t m.s.
$\frac{44}{12}$	Proporción molecular, para pasar de carbono a dióxido de carbono. Relación entre sus masas moleculares.	t CO ₂ e / t C
t_h	Tiempo desde la corta hasta el momento de estimación de las reservas de carbono en los productos de vida media	años

8.1.1.4. Resumen: Absorciones netas de GEI en el escenario de proyecto

Como se indica al inicio del apartado, las absorciones netas en el escenario de proyecto, considerando las condiciones de aplicabilidad de la presente metodología se calcula según la Ecuación 4, sumando las variaciones de las existencias en los distintos reservorios considerados.

$$\Delta C_{EP,t} = \Delta C_{ARBOL,t} + \Delta C_{MM,t} + \Delta C_{PM,t}$$

En el caso de las estimaciones **ex ante**, al obtenerse datos mediante modelización o proyección, se parte de datos de existencias anuales obteniéndose variaciones de existencias anuales por reservorio. En el caso de los cálculos **ex post**, los datos se obtienen de mediciones de existencias en momentos determinados con una frecuencia de monitoreo de 5 años desde el inicio del proyecto (años 5, 10, 15, 20, 25 y 30 de proyecto). Y por lo tanto las variaciones anuales se obtienen mediante el cálculo de medias de variaciones en el periodo entre mediciones: existencias en t_2 menos existencias en t_1 dividido entre el número de años entre t_2 y t_1 .

8.1.2. Absorciones netas de GEI en la línea base

Las variaciones de las absorciones netas en la línea base se obtienen mediante la suma de las variaciones absorciones netas en cada reservorio, descontando las emisiones totales en la línea base.

Los cálculos de estas absorciones netas se realizan de la misma manera que los cálculos **ex ante** para el escenario de proyecto. Es decir, para la biomasa aérea, mediante **modelos de crecimiento** específicos para la especie y calidad de estación y considerando los modelos de gestión planificados. Las existencias de biomasa se deben predecir para toda la vida útil del proyecto (periodo de permanencia) y se debe obtener una media a largo plazo (Ver apartado 8.3). Las existencias iniciales ($BA_{t=0}$) serán exactamente las mismas para el escenario de proyecto y para la línea base. La principal diferencia en la línea base es que el modelo de gestión es diferente, con un turno más corto. Para el resto de los reservorios se considerarán también las ecuaciones propuestas para el escenario de proyecto.

Tal y como se determina en el apartado de Fuentes y reservorios de GEI de esta metodología, tanto el carbono almacenado en la madera muerta como el carbono

almacenado en los productos de madera se pueden excluir bajo un enfoque conservador.

8.1.3. Fugas

Las fugas son emisiones derivadas del desplazamiento de la actividad de aprovechamiento de madera debidas a la implementación del proyecto. Estas emisiones se deben contabilizar en el total del resumen de las absorciones netas anuales.

En el caso de las condiciones de aplicabilidad de esta metodología, no hay fugas.

8.2. Resumen de las absorciones netas anuales de GEI

Una vez obtenidas las variaciones de las absorciones netas para cada año tanto en la línea base como en el escenario de proyecto, y las fugas, se pueden estimar las absorciones netas de GEI para un periodo de tiempo, de acuerdo con las ecuaciones generales (Ecuaciones 1 y 2).

8.3. Absorciones netas de GEI promedio a largo plazo

El promedio de absorciones de GEI a largo plazo (PALP) durante toda la vida del proyecto supone el máximo potencial de absorciones que el proyecto es capaz de absorber, considerando las cortas de la masa durante la vida del proyecto. Este promedio se calcula sobre la estimación ex ante de las absorciones netas en el escenario de proyecto y la línea base para al menos un turno de corta completo, y será fijo a lo largo de toda la vida del proyecto.

$$PALP = \frac{\sum_0^n (C_{EP,t} - C_{LB,t})}{n}$$

Ecuación 19

Donde:

Tabla 19 Parámetros de la Ecuación 19

Símbolo	Descripción	Unidades
<i>PALP</i>	Promedio de absorciones a largo plazo	t CO ₂
<i>C_{EP,t}</i>	Absorciones netas acumuladas de GEI en el escenario de proyecto, hasta el año t desde el inicio del proyecto	t CO ₂
<i>C_{LB,t}</i>	Absorciones netas acumuladas de GEI en la línea base, hasta el año t desde el inicio del proyecto	t CO ₂
<i>t</i>	Año para el que se calcula	años
<i>n</i>	Número total de años del periodo para el que se calcula, que debe ser al menos un turno de corta completo	años

8.4. Incertidumbre

La incertidumbre en esta metodología se calcula únicamente para las estimaciones en el escenario de proyecto ex post. Esta incertidumbre será la obtenida en la estimación de existencias de biomasa. A modo de ejemplo, para inventarios tradicionales mediante parcelas de muestreo, la incertidumbre se calcula como el error muestral, de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$E = \frac{t \times \sigma}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 20

$$I = \frac{E}{\overline{C_{arbol}}}$$

Ecuación 21

Donde:

Tabla 20 Parámetros de la Ecuación 20 y la Ecuación 21

Símbolo	Descripción	Unidades
<i>E</i>	Error absoluto	
<i>t</i>	t de Student de dos colas para un nivel de confianza del 90% y un valor de grados de libertad igual a n	
<i>σ</i>	Desviación típica de la estimación de las existencias de carbono en la biomasa arbórea para el periodo de monitoreo	
<i>n</i>	Número de parcelas	-
<i>I</i>	Incertidumbre, o error relativo	%
$\overline{C_{arbol}}$	Media de las existencias de carbono en la biomasa arbórea para n parcelas	t CO ₂

Para valores de *I* mayores del 10% se debe ajustar el valor de absorciones estimadas, descontando un valor de acuerdo con la tabla 1 del Apéndice 2 de la herramienta del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL de la CMNUCC), AR-TOOL 14: Estimación de las existencias y cambios de existencias en árboles y matorrales en proyectos MDL de forestación/reforestación (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities).

9. Monitoreo

Se debe planificar, describir e implementar un plan de monitoreo que permita las correctas estimaciones de las existencias y los cambios en las existencias de carbono.

Las mediciones en campo deben seguir los principios comúnmente aceptados de los inventarios forestales.

9.1. Plan de monitoreo y su implementación

El diseño de monitoreo debe estar recogido en un documento y su implementación debe quedar recogida en un informe de monitoreo. Este plan debe seguir procedimientos de inventarios forestales que incluyan métodos de toma y procesamiento de datos:

- Las coordenadas del área del proyecto se deben establecer para todas las parcelas que formen parte del proyecto, utilizando datos espaciales obtenidos de una fuente reconocida (por ejemplo: Instituto Nacional Geográfico, catastro, catálogo de Montes de Utilidad Pública).
- El diseño de muestreo debe incluir una estratificación del área de proyecto en unidades de gestión homogéneas.
- El tamaño de la muestra debe seguir metodologías o herramientas comúnmente aceptadas, por ejemplo, la herramienta del MDL para el cálculo del número de parcelas de muestreo para inventarios de actividades de forestación/reforestación (Tool for the calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities).
- Los parámetros de inventario se deben medir y/o monitorear con una frecuencia de 5 años. Las estimaciones realizadas utilizando las ecuaciones de esta metodología deben estar basadas en mediciones reales o estimadas procedentes de publicaciones científicas.
- En todo momento se debe seguir un enfoque conservador en las estimaciones.

Se muestran a continuación los datos y parámetros necesarios para aplicar esta metodología. Algunos de los datos son valores por defecto procedentes de bibliografía científica que deben ser aplicados en las ecuaciones correspondientes, otros parámetros deben ser inventariados o estimados para poder aplicarse en las ecuaciones correspondientes.

9.1.1. Datos y parámetros monitoreados

Los parámetros recogidos en las tablas siguientes se deben monitorear durante la vida del proyecto.

Tabla 21 Parámetro: área de proyecto

Parámetro	a_i
Unidades	hectáreas
Descripción	Área del estrato i
Ecuaciones	10
Fuente	Mediciones de campo utilizando coordenadas GPS y sensores remotos
Frecuencia de monitoreo	Cada 5 años

Tabla 22 Parámetro: diámetro

Parámetro	<i>D</i>
Unidades	cm
Descripción	Diámetro a la altura del pecho para obtener existencias medias de la biomasa aérea en el escenario de proyecto, en el estrato <i>i</i> , en el año <i>t</i> ($ba_{i,t}$). Puede ser cualquier otra medida de diámetro aplicable al modelo o ecuaciones alométricas utilizadas en el cálculo de $ba_{i,t}$.
Ecuaciones	10
Fuente	Mediciones en campo
Frecuencia de monitoreo	Cada 5 años

Tabla 23 Parámetro: altura

Parámetro	<i>H</i>
Unidades	m
Descripción	Altura para obtener las existencias medias de la biomasa aérea en el escenario de proyecto, en el estrato <i>i</i> , en el año <i>t</i> ($ba_{i,t}$).
Ecuaciones	10
Fuente	Mediciones en campo
Frecuencia de monitoreo	Cada 5 años

Tabla 24 Parámetro: periodo de monitoreo

Parámetro	<i>t</i>
Unidades	años
Descripción	Periodo de tiempo entre dos estimaciones sucesivas de carbono
Ecuaciones	todas
Fuente	
Frecuencia de monitoreo	Cada 5 años

Tabla 25 Parámetro: periodo de monitoreo

Parámetro	<i>Vext</i>
Unidades	m ³ (o cualquier otra unidad de volumen)
Descripción	Volumen de madera extraída en el escenario de proyecto en el área de proyecto en un periodo de tiempo
Ecuaciones	14
Fuente	Plan de gestión ejecutado
Frecuencia de monitoreo	Cada 5 años

9.1.2. Datos y parámetros no monitoreados

A continuación, se muestran los valores y fuentes de datos o parámetros que no son sujeto de inventario o monitoreo.

Tabla 26 Parámetro: fracción de carbono

Parámetro	FC_{ARBO}
Descripción	Fracción de carbono en la biomasa arbórea según especie
Unidades	tC/t m.s.
Ecuaciones	7, (15)
Fuente	Guías IPCC, Tabla 4.3 Carbon Fraction of aboveground forest biomass de IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 4: Forest Land.
Valor	0,47

Tabla 27 Parámetro: relación parte aérea-parte subterránea

Parámetro	R
Descripción	Relación parte aérea-parte subterránea
Unidades	adimensional
Ecuaciones	11
Fuente	Guías IPCC, Tabla 3A.1.10 de IPCC GPG-LULUCF 2003, Annex 3A.1 Biomass Default Tables for Section 3.2 Forest Land Montero et al. 2005, Producción de biomasa y fijación de CO ₂ por los bosques españoles
Valor	Según especie

Tabla 28 Parámetro: proporción madera muerta

Parámetro	MM
Descripción	Valor conservador por defecto que expresa las reservas de carbono en la madera muerta como un porcentaje de las reservas de carbono en la biomasa arbórea.
Unidades	porcentaje
Ecuaciones	12
Fuente	Delaney et al. 1997,9 Smith et al. 2006,10 Glenday 2008,11 Keller et al. 2004,12 Eaton and Lawrence 2006,13 Krankina and Harmon 1995,14 and Clark et al 2002:15 AR-TOOL 12: Estimación de las existencias y cambios de existencias de carbono en la madera muerta y la hojarasca para actividades de proyecto MDL de forestación y reforestación (Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks in dead wood and litter in A/R CDM project activities).
Valor	8 (delatney et al.) Valor estimado según herramienta MDL

Tabla 29 *Parámetro proporción de biomasa extraída*

Parámetro	EXT
Descripción	Valor que expresa el porcentaje de biomasa extraído en el escenario de proyecto para el año t
Unidades	porcentaje
Ecuaciones	13
Fuente	Plan de gestión
Valor	

Tabla 30 *Parámetro: densidad de la madera*

Parámetro	d
Descripción	Densidad de la madera
Unidades	t/m ³ (u otras unidades que representen la densidad)
Ecuaciones	13
Fuente	Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera: Especies de maderas para construcción, carpintería y mobiliario (2ª reedición) Asociación Española del Comercio e Industria de la Madera (AEIM): Fichas especies de madera
Valor	Según especie

Tabla 31 *Parámetro: proporción biomasa perdida*

Parámetro	PER
Descripción	Valor que expresa el porcentaje de biomasa que se pierde en el escenario de proyecto para el año t
Unidades	porcentaje
Ecuaciones	14
Fuente	Winjum, J. K., Brown, S., & Schlamadinger, B. (1998). Forest harvests and wood products: Sources and sinks of atmospheric carbon dioxide. Forest Science, 44(2), 272–284 Referencias bibliográficas según especie
Valor	19 (Winjum et al) Otros valores según especie

Tabla 32 *Parámetro: proporción productos larga duración*

Parámetro	f_{VLsp}
Descripción	Proporción de madera destinada a productos de larga duración
Unidades	porcentaje
Ecuaciones	16
Fuente	Referencias bibliográficas según especie
Valor	Según especie

Tabla 33 Parámetro: proporción productos vida media

Parámetro	$f_{VM,sp}$
Descripción	Proporción de madera destinada a productos de vida media
Unidades	porcentaje
Ecuaciones	17
Fuente	Referencias bibliográficas según especie
Valor	Según especie

10. Medidas para el monitoreo de la biodiversidad

Para el monitoreo de la biodiversidad en esta metodología se debe emplear la Herramienta desarrollada por CETEMAS en el Proyecto eco2for para la determinación de los Índices de Biodiversidad en las Metodologías de Gestión Forestal Mejorada. Esta herramienta está basada en *Indice de Biodiversité Potentielle* (IBP) desarrollado por Centre National de la Propriété Forestière (CNPF) (2022) y la Aplicación VALDIFOR para la valoración de la biodiversidad de proyectos de absorción forestal desarrollada por el CSIC-INIA en el Proyecto eco2for.

La metodología empleada permite cuantificar el estado de la biodiversidad y su evolución mediante una serie de indicadores específicos que reciben una puntuación del 1 al 3 según umbrales de desempeño.

Los indicadores de biodiversidad se centran en cinco pilares fundamentales:

- Biodiversidad:** Se evalúa la diversidad de especies arbóreas, la presencia de árboles muertos en pie y de microhábitats como cavidades, nidos o epífitas.
- Estructura:** Se analiza la estructura vertical del bosque a través de sus estratos.
- Paisaje:** Se evalúa la continuidad forestal en el paisaje y la existencia de hábitats asociados como riberas, charcas temporales o dehesas.
- Certificación:** Se considera la certificación forestal del área por cualquiera de los sistemas de certificación oficiales.
- Protección:** Se considera la inclusión del área en zonas protegidas como garantía de conservación.

El monitoreo debe realizarse con al menos la misma frecuencia que el monitoreo de carbono (5 años), utilizando como documentación justificativa inventarios forestales, registros o documentos acreditativos y cartografía.

La puntuación total obtenida permite categorizar el proyecto, en términos de biodiversidad, durante su periodo de permanencia.

11. Contribución de absorciones a la bolsa de garantía

Se debe contribuir con un 10% de las absorciones netas anuales de GEI a la bolsa de garantía del registro de huella de carbono.

$$C_{BG} = C_{ABS,t} \times 0,1$$

Ecuación 22

Donde:

Tabla 34 Parámetros de la Ecuación 22

Símbolo	Descripción	Unidades
C_{BG}	Contribución de absorciones a la bolsa de garantía	t CO ₂
$C_{ABS,t}$	Absorciones netas anuales de GEI, en el año t	t CO ₂
0,1	10% de contribución a la bolsa de garantía	%