

ANEXO

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE ABSORCIONES DE CARBONO EN REPOBLACIONES FORESTALES Y FACTORES DE ABSORCIÓN RELACIONADOS (PLANTACIONES O ACTUACIONES PARA GARANTIZAR LA REGENERACIÓN NATURAL)

$$\text{Balance de absorciones de CO}_2 = (\text{t CO}_2 \text{ secuestradas} - \text{t CO}_2 \text{ emitidas})_{\text{escenario del proyecto}} - (\text{t CO}_2 \text{ secuestradas} - \text{t CO}_2 \text{ emitidas})_{\text{escenario de línea base}}$$

El resultado del balance hace referencia a los años de vigencia del proyecto y se debe aplicar de forma individual a cada rodal que incluya, entendiendo un rodal como una unidad homogénea de gestión. Para estos proyectos, los años de vigencia equivaldrán al periodo comprendido entre la plantación o las actuaciones para garantizar la regeneración natural y la aplicación de la primera intervención que la masa requiera (a los 10-20 años). La primera intervención, además de cumplir con el objetivo específico que se le atribuya (absorción de carbono, producción de madera, etc.), tiene que garantizar una masa resistente a los incendios forestales para asegurar su persistencia. Además, se considera que el escenario de línea base no supone emisiones ni absorciones de CO₂, puesto que se trata de zonas degradadas o afectadas por perturbaciones desprovistas de vegetación arbórea y que, en caso de que haya algún ejemplar, continuará fijando igualmente carbono en ambos escenarios.

RESERVORIOS DE CARBONO

Biomasa total del árbol (BT) = biomasa aérea total (BAT) + biomasa subterránea total (BST)

Biomasa aérea total (BAT) = biomasa del tronco (Bt) + biomasa de las ramas (Bb) + biomasa de las hojas (Bf)

Biomasa subterránea total (BST) = biomasa de las raíces (Br)

Carbono orgánico en el suelo (COS) = carbono contenido en la materia orgánica del suelo

ASPECTOS QUE HAY QUE TENER EN CUENTA

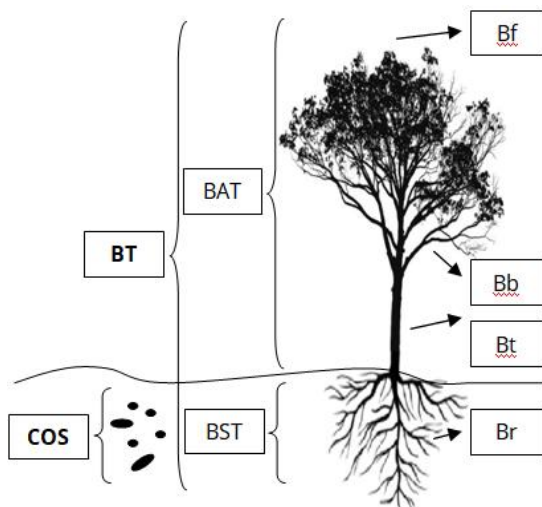
Aspectos que hay que tener en cuenta en el escenario del proyecto:

a) En cuanto al «reservorio BT», se justificará la selección de especies (priorizando especies autóctonas presentes en la zona de actuación) y se estimará el marco de plantación

para poder conocer las posibilidades de absorción de carbono de los árboles. También habrá que definir el primer tratamiento que se tiene que aplicar, el año de aplicación, la densidad de pies final y el producto que se obtendrá (leñas o biomasa para energía, palés y embalajes, estructuras, mobiliario, cierres, palos, traviesas, etc.). Para lo cual, pueden tenerse en cuenta las [Orientaciones de gestión forestal sostenible \(ORGEST\) de Catalunya](#).

En cuanto a la vegetación existente antes de la plantación, ésta no se tendrá en cuenta, puesto que se considera que continuará fijando el mismo carbono en ambos escenarios.

b) En cuanto al «reservorio COS», para incrementar las absorciones, habrá que priorizar la trituración de los restos de corta ante la quema.



CÁLCULOS EX-ANTE Y EX-POST

Todo proyecto de absorción requiere un primer cálculo *ex-ante* en el momento de inscripción del proyecto, el cual tiene la función de estimar el incremento de absorciones y la reducción de emisiones que se conseguirán con la implementación del proyecto a lo largo de los años de vigencia (escenario del proyecto) respecto a las que habrían tenido lugar en ausencia del proyecto (escenario de línea base). A lo largo de la vigencia del proyecto, y a más tardar cada 5 años, se irán realizando cálculos *ex-post* en base a datos reales para comprobar si hay desviaciones con respecto a las estimadas con el *ex-ante*. En cualquiera de los dos cálculos, este incremento de absorciones y reducción de emisiones es lo que denominamos *Balance de absorciones de CO₂* y se calculará aplicando una serie de cápsulas de cálculo.

CÁLCULO EX-ANTE

Orientación de las cápsulas de cálculo que deben aplicarse:

Escenario de línea base: -

Escenario del proyecto: 1.1, 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4

$$\text{Balance de absorciones de CO}_2 = (\text{t CO}_2 \text{ secuestradas} - \text{t CO}_2 \text{ emitidas})_{\text{escenario del proyecto}} - (\text{t CO}_2 \text{ secuestradas} - \text{t CO}_2 \text{ emitidas})_{\text{escenario de línea base}} = \\ (1.1 - 2.1 - 2.2 - 2.3 - 2.4)_{\text{escenario del proyecto}} - (-)_{\text{escenario de línea base}}$$

CÁLCULO EX-POST

Orientación de las cápsulas de cálculo que deben aplicarse:

Escenario de línea base: -

Escenario del proyecto: 1.1, 2.1, 2.2, 2.3 y 2.4

$$\text{Balance de absorciones de CO}_2 = (\text{t CO}_2 \text{ secuestradas} - \text{t CO}_2 \text{ emitidas})_{\text{escenario del proyecto}} - (\text{t CO}_2 \text{ secuestradas} - \text{t CO}_2 \text{ emitidas})_{\text{escenario de línea base}} = \\ (1.1 - 2.1 - 2.2 - 2.3 - 2.4)_{\text{escenario del proyecto}} - (-)_{\text{escenario de línea base}}$$

CÁPSULAS DE CÁLCULO			
ID	Nombre	Tipo de cálculo	Descripción
1. ABSORCIONES			
1.1	Absorciones por parte de los árboles plantados o de regeneración natural	Aclaración: Esta cápsula de cálculo cuantifica el carbono total que fijan los árboles en su biomasa aérea y subterránea con su crecimiento desde el momento de la plantación o regeneración natural hasta que se aplica la primera intervención.	
		Ex-ante	Se aplicará la ecuación siguiente: 1.1) t CO₂ absorciones árboles = N árboles to * Fa árboles tn Dónde: - N árboles to: número de plántones que se prevén plantar o que está previsto que se establezcan gracias a tareas aplicadas para garantizar la regeneración natural de la masa en el año 0 del proyecto (to), siempre atendiendo a un marco de plantación adecuado. - Fa árboles tn (t CO₂): factor de absorción de las especies de los árboles plantados o establecidos con regeneración natural para el año de aplicación de la primera intervención que requiera la masa, la cual se suele aplicar entre los 10 y 20 años (tn). Se usarán los valores de referencia que se presentan en la Tabla 1.
		Ex-post	Se realizará un inventario forestal dendrométrico estratificado siguiendo los criterios establecidos en la Tabla 6. La intensidad de muestreo y la forma de las parcelas de inventario variará en función de si la vigencia del proyecto finalizará con la primera intervención (hay que establecer Parcelas de seguimiento del escenario de gestión) o si se alargará hasta futuras intervenciones que requiera la masa (hay que establecer Parcelas de seguimiento del escenario de gestión y Parcelas de seguimiento del escenario de no gestión). Los datos recopilados en el inventario (diámetro normal y altura) permitirán aplicar las ecuaciones alométricas de biomasa total (aérea y subterránea) de la Tabla 3, cuyos resultados son en seco y se multiplicarán por el porcentaje en peso de carbono de la Tabla 4 para obtener el peso de carbono contenido en la biomasa seca total. Finalmente, se hará la conversión de carbono a dióxido de carbono multiplicando por 3,67, dada la relación entre sus pesos moleculares (44/12 g/mol).
2. EMISIONES			

2.1	Emisiones por descomposición o quema de restos de corta y raíces muertas	Aclaración: Esta cápsula de cálculo cuantifica las absorciones conseguidas por los árboles que se perderán por descomposición o quema de restos de corta y raíces muertas una vez aplicada la primera intervención. A efectos de esta metodología, se consideran restos de corta de las especies rebrotadoras (generalmente, frondosas) las fracciones de biomasa de ramas de diámetro inferior a 2 cm ($Bb <_{2cm}$) y de hojas (Bf) (las ramas de diámetro superior a 2 cm suelen aprovecharse para leñas o palos), además de considerar que sus raíces no mueren y que no suponen emisiones por descomposición. En cambio, se consideran restos de corta de las especies no rebrotadoras (generalmente coníferas) las fracciones de biomasa de ramas de diámetro superior e inferior a 2 cm ($Bb >_{2cm}$ y $Bb <_{2cm}$) (no suelen aprovecharse para leña) y de hojas (Bf), además de considerar que sus raíces morirán y supondrán emisiones por descomposición. Así, en caso de que los restos de corta se eliminen mediante quema, la totalidad del carbono de éstas vuelve a emitirse a la atmósfera, pero si se trituran y/o se mantienen en la parcela, Voroney et al. (1989) considera que una parte de este carbono sí que se emite durante su proceso de descomposición, mientras que alrededor de un 20 % se fija en el suelo en forma de carbono orgánico (reservorio COS). Lo mismo ocurre con la descomposición de las raíces que mueren de los árboles sometidos a la intervención, que serían las de las especies no rebrotadoras, mientras que las de las especies rebrotadoras no mueren y el carbono no se emite. Por esto, se aplicará un factor de pérdida (Fp) de 1 en caso de quema y de 0,8 en caso de descomposición de restos de corta y/o raíces muertas. Ex-ante Se aplicará la ecuación siguiente: 2.1) $t\text{ CO}_2$ emisiones descomposición o quema restos tala y raíces muertas = $t\text{ CO}_2$ emisiones rebrotadores extraídas + $t\text{ CO}_2$ emisiones no rebrotadores extraídas $t\text{ CO}_2$ emisiones rebrotadoras extraídas = $N_{\text{árboles extraídos tn}} * Fp * [(t\text{ CO}_2 Bb <_{2cm}) + (t\text{ CO}_2 Bf)]$ $t\text{ CO}_2$ emisiones no rebrotadores extraídas = $N_{\text{árboles extraídos tn}} * Fp * [(t\text{ CO}_2 BST)] + N_{\text{árboles extraídos tn}} * Fp * [(t\text{ CO}_2 Bb >_{2cm}) + (t\text{ CO}_2 Bb <_{2cm}) + (t\text{ CO}_2 Bf)]$ Dónde: - $N_{\text{árboles extraídos tn}}$: número de árboles extraídos con la primera intervención de la masa.
-----	--	--

			- Fp: factor de pérdida del carbono almacenado en la biomasa. En caso de que se quemen los restos de corta, el factor de pérdida será de 1. En cambio, el factor de pérdida será de 0,8 para los restos de corta que se trituren y se mantengan en el rodal, así como por las raíces muertas de las especies no rebrotadoras. - t CO₂ Bb_{>2cm} (t): toneladas de dióxido de carbono que representa el carbono contenido en las ramas de diámetro superior a 2 cm de los árboles intervenidos. - t CO₂ Bb_{<2cm} (t): toneladas de dióxido de carbono que representa el carbono contenido en las ramas de diámetro inferior a 2 cm de los árboles intervenidos. - t CO₂ Bf (t): toneladas de dióxido de carbono que representa el carbono contenido en las hojas de los árboles intervenidos. - t CO₂ BST (t): toneladas de dióxido de carbono que representa el carbono contenido en la biomasa subterránea total de los árboles intervenidos. Para poder aplicar la ecuación anterior se usarán los factores de absorción del año en el que se aplicará la primera intervención de las especies forestales arbóreas que se muestran en la <i>Tabla 1</i>. Estos valores, al referirse al CO₂ absorbido por la BT, pueden desglosarse con los correspondientes a cada una de las fracciones de biomasa aplicando los porcentajes de la <i>Tabla 5</i>.
		<i>Ex-post</i>	Tiene que llevarse un registro de las pesadas de los camiones de la madera (Bt) y/o leña (Bb_{>2cm}) extraída. Al considerar que la madera o leña habrá estado cierto tiempo en el cargador y habrá adquirido una humedad de un 30 %, se multiplicará su peso por un factor de 0,92 para obtener el peso en seco. Los resultados se multiplicarán por el porcentaje en peso de carbono de la <i>Tabla 4</i> para obtener el peso de carbono contenido en la biomasa seca. Finalmente, se hará la conversión de carbono a dióxido de carbono multiplicando por 3,67. Puesto que estos valores harán referencia al dióxido de carbono absorbido por la biomasa del tronco (Bt) y/o la biomasa de ramas > 2 cm (Bb > 2cm), se usarán los repartos porcentuales de la <i>Tabla 5</i> para obtener los valores de dióxido de carbono correspondientes a cada una del resto de fracciones de biomasa. Los valores de las diferentes fracciones de biomasa se aplicarán a las mismas ecuaciones utilizadas para el cálculo <i>ex-ante</i> (cápsula 2.1) y se usarán los factores de pérdida correspondientes en función de la forma de gestión de los residuos vegetales de la intervención.
2.2	Emisiones de vehículos y maquinaria	Aclaración: Esta cápsula de cálculo cuantifica las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de combustibles en vehículos y maquinaria para la ejecución de los trabajos silvícolas y transporte de planta o de productos a la industria. Hace referencia a t de CO₂e derivadas, especialmente, de la emisión de N₂O, CH₄ y/o CO₂.	
		<i>Ex-ante</i>	Se podrán usar los factores de emisión de referencia de la <i>Tabla 7</i> .
		<i>Ex-post</i>	Se llevará un registro de los combustibles consumidos y/o, en el caso del transporte de los productos, distancias recorridas, etc.,

			y se aplicará la Calculadora de la Huella de Carbono del Registro Balear para calcular las emisiones generadas.
2.3	Emisiones de la quema de restos de tala	Aclaración: Esta cápsula de cálculo cuantifica las emisiones de CO₂ equivalentes derivadas de la emisión de otros gases de efecto invernadero (especialmente N₂O y CH₄) durante la quema de restos de corta (hojas, ramas, etc.), en caso de que se aplique en lugar de triturarlas.	
		Ex-ante	Debe aplicarse la siguiente ecuación: $2.3) \text{ t CO}_2 \text{ crema restos tala} = [(t \text{ Bb}_{>2\text{cm}}) + (t \text{ Bb}_{<2\text{cm}}) + (t \text{ Bf})] * [(Fe_{\text{CH}_4 \text{ quema restos}} * 27,9) + (Fe_{\text{N}_2\text{O quema restos}} * 273)]$ Dónde: - t Bb_{>2cm} (t): toneladas de biomasa seca de las ramas de diámetro superior a 2 cm de los árboles intervenidos. - t Bb_{<2cm} (t): toneladas de biomasa seca de las ramas de diámetro inferior a 2 cm de los árboles intervenidos. - t Bf (t): toneladas de biomasa seca de las hojas de los árboles intervenidos. - Fe_{CH4 quema restos} (t): factor de emisión de metano (CH₄) que supone la quema de los diferentes tipos de restos de corta. Los valores de este factor se muestran en la <i>Tabla 2</i>. - Fe_{N2O quema restos} (t): factor de emisión de metano (N₂O) que supone la quema de los diferentes tipos de restos de corta. Los valores de este factor se muestran en la <i>Tabla 2</i>. Para poder aplicar la ecuación anterior se usarán los mismos valores de t CO₂ Bb_{>2cm}, t CO₂ Bb_{<2cm} y t CO₂ Bf que los aplicados al cálculo <i>ex-ante</i> de la cápsula 2.1 para obtener el peso en seco de las diferentes fracciones de biomasa que las han absorbido (t Bb_{>2cm}, t Bb_{<2cm} y t Bf) y que se quemarán. Por esto, las t CO₂ se convertirán a t C dividiendo por 3,67 y, posteriormente, las t C se convertirán a t de biomasa seca dividiendo por el peso de carbono de la <i>Tabla 4</i>.
		Ex-post	Del mismo modo que para el cálculo <i>ex-post</i> de la cápsula 2.1, se llevará un registro de las pesadas de los camiones de la madera (Bt) y/o leña (Bb_{>2cm}) extraída. Con estos valores, y aplicando los repartos porcentuales de la <i>Tabla 5</i>, se obtendrán los valores de t Bb_{>2cm}, t Bb_{<2cm} y t CO₂ Bf para aplicar la ecuación del cálculo <i>ex-ante</i> (cápsula 2.3).
2.4	Emisiones de los productos maderables	Aclaración: Esta cápsula de cálculo cuantifica las emisiones de CO₂ derivadas de productos maderables, lo que hace referencia al retorno a la atmósfera del carbono fijado en los productos si son de ciclo de vida corto y no se reciclan. A efectos de esta metodología se considera lo siguiente:	

		- Productos de vida útil corta (< 2 años) (P< 2 años): se refiere a biocombustibles, como <i>pellet</i> o astilla, y se considera un retorno a la atmósfera del 100 % del CO₂ retenido. - Productos de vida útil media (< 10 años) (P< 10 años): se refiere a productos como palés y embalajes, y se considera un retorno a la atmósfera del 75 % del CO₂ retenido (teniendo en cuenta la normativa de reciclaje europea). - Productos de vida útil larga (>30 años) (P>30 años): se refiere a productos como estructuras, mobiliario, travesaños y palos, y se considera un retorno a la atmósfera del 0 % del CO₂ retenido.	
		Ex-ante	Se aplicará la siguiente ecuación: $2.4) \text{ t CO}_2 \text{ emisiones productos} = \text{t CO}_2 \text{ Bt} * [(\% \text{ Bt destinada a P} < 2 \text{ años} * 1) + (\% \text{ Bt destinada a P} < 10 \text{ años} * 0,75)] + \text{t CO}_2 \text{ Bb}_{>2\text{cm}} * [(\% \text{ Bb}_{>2\text{cm}} \text{ destinada a P} < 2 \text{ años} * 1) + (\% \text{ Bb}_{>2\text{cm}} \text{ destinada a P} < 10 \text{ años} * 0,75)]$ Dónde: - t CO₂ Bt (t): toneladas de dióxido de carbono que representa el carbono contenido en los troncos de los árboles intervenidos y de los que se obtiene un producto. - % Bt destinada a P< 2 años: porcentaje de troncos destinados a productos de vida útil corta, es decir, menor a 2 años. - % Bt destinada a P< 10 años: porcentaje de troncos destinados a productos de vida útil media, es decir, menor a 10 años. - t CO₂ Bb_{>2cm} (t): toneladas de dióxido de carbono que representa el carbono contenido en las ramas de diámetro superior a 2 cm y de las cuales se obtiene un producto. - % Bb_{>2cm} destinada a P< 2 años: porcentaje de ramas de diámetro superior a 2 cm destinadas a productos de vida útil corta, es decir, menor a 2 años. - % Bb_{>2cm} destinada a P< 10 años: porcentaje de ramas de diámetro superior a 2 cm destinadas a productos de vida útil media, es decir, menor a 10 años. Para poder aplicar la ecuación anterior, del mismo modo que para el cálculo <i>ex-ante</i> de la cápsula 2.1, tienen que usarse los factores de absorción del año en el que se aplicará la primera intervención de las especies forestales que se muestran en la <i>Tabla 1</i>. Estos valores, al referirse al CO₂ absorbido por la BT, pueden desglosarse con los correspondientes a cada una de las fracciones de biomasa aplicando los repartos porcentuales de la <i>Tabla 5</i>, obteniendo así los valores de t CO₂ Bt y t CO₂ Bb_{>2cm}.
		Ex-post	Del mismo modo que para el cálculo <i>ex-post</i> de la cápsula 2.1, se llevará un registro de las pesadas de los camiones de la madera (Bt) y/o leña (Bb_{>2cm}) extraída y del porcentaje que se destina a cada producto. Dado que la madera o leña habrá estado cierto tiempo en el cargador y habrá adquirido una humedad de un 30 %, tiene que multiplicarse su peso por un factor de 0,92 para obtener el peso en seco. Los resultados tienen que multiplicarse por el porcentaje en peso de carbono de la <i>Tabla 4</i> para obtener el peso de carbono contenido en la biomasa seca. Finalmente, tiene que realizarse la conversión de carbono a dióxido de

			carbono multiplicando por 3,67. Estos valores tienen que aplicarse a la ecuación utilizada en el cálculo <i>ex-ante</i> (cápsula 2.4).
--	--	--	--

TABLA 1. Factores de absorción (Fa) para las principales especies forestales de porte arbóreo. Fuente: ^A Ameztegui y Torné (2020), ^B elaboración propia y ^C MITERD (2023).

Absorciones acumuladas a lo largo de los años (kg CO₂/pie)						
Especie	Año 5	Año 10	Año 15	Año 20	Año 25	Año 30
Aladierno de hoja ancha (<i>Phillyrea latifolia</i>)	^B 0,12	^B 4,28	^B 11,39	^C 25,34	^C 31,68	^C 89,36
Encina (<i>Quercus ilex</i>)	^B 0,05	^A 1,79	^A 7,68	^A 18,61	^A 35,10	^A 57,47
Alcornoque (<i>Quercus suber</i>)	^B 0,02	^A 0,81	^A 3,24	^A 7,79	^A 14,87	^A 24,74
Madroño (<i>Arbutus unedo</i>)	^B 0,13	^A 4,59	^A 20,96	^A 51,99	^A 98,68	^A 161,12
Acebo (<i>Ilex aquifolium</i>)	^B 0,16	^A 5,66	^A 23,07	^A 53,29	^A 96,74	^A 153,61
Espino albar (<i>Crataegus spp.</i>)	^B 0,11	^B 3,88	^B 18,30	^C 42,91	^C 112,03	^C 205,17
Fresno (<i>Fraxinus angustifolia</i>)	^B 0,07	^A 2,63	^A 17,33	^A 49,43	^A 100,84	^A 171,90
Algarrobo (<i>Ceratonia siliqua</i>)	^B 0,16	^B 5,75	^B 25,62	^C 61,96	^C 77,45	^C 92,94
Terebinto (<i>Pistacia terebinthus</i>)	^B 0,11	^B 3,88	^B 18,30	^C 42,91	^C 112,03	^C 205,17
Enebro (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	^B 0,24	^A 8,47	^A 12,22	^A 16,98	^A 22,89	^A 30,09
Aladierno (<i>Rhamnus alaternus</i>)	^B 0,11	^B 3,88	^B 18,30	^C 42,91	^C 112,03	^C 205,17
Laurel (<i>Laurus nobilis</i>)	^B 0,11	^B 3,88	^B 18,30	^C 42,91	^C 112,03	^C 205,17
Mirto (<i>Myrtus communis</i>)	^B 0,11	^B 3,88	^B 18,30	^C 42,91	^C 112,03	^C 205,17
Acebuché (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)	^B 0,11	^B 3,87	^B 18,26	^C 39,00	^C 48,74	^C 84,08
Olmo (<i>Ulmus minor</i>)	^B 0,15	^A 5,29	^A 29,63	^A 77,28	^A 149,59	^A 246,68
Pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	^B 0,05	^A 1,91	^A 7,49	^A 17,55	^A 32,58	^A 52,89
Pino resinero (<i>Pinus pinaster</i>)	^B 0,36	^A 12,91	^A 32,91	^A 64,14	^A 107,47	^A 163,41
Pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)	^B 0,17	^A 6,16	^A 18,90	^A 40,36	^A 71,52	^A 113,05
Plátano (<i>Platanus hispanica</i>)	^B 0,15	^A 5,45	^A 26,39	^A 67,25	^A 130,13	^A 215,96
Álamo negro (<i>Populus nigra</i>)	^B 1,26	^A 44,74	^A 140,32	^A 294,14	^A 506,69	^A 776,65
Peral del monte (<i>Sorbus aria</i>)	^B 0,12	^A 4,43	^A 20,63	^A 51,46	^A 98,10	^A 160,88
Ácer (<i>Acer opalus</i>)	^B 0,13	^A 4,68	^A 21,89	^A 54,51	^A 103,56	^A 169,23
Sauce blanco (<i>Salix alba</i>)	^B 0,12	^A 4,34	^A 20,49	^A 51,92	^A 100,52	^A 167,29
Sabina (<i>Juniperus phoenicea</i>)	^B 0,08	^A 2,69	^A 10,43	^A 21,95	^A 36,75	^A 54,54
Serbal común (<i>Sorbus domestica</i>)	^B 0,17	^A 6,08	^A 26,85	^A 62,99	^A 113,86	^A 178,87
Tamarindo (<i>Tamarix spp.</i>)	^B 0,16	^B 5,64	^B 13,02	^C 28,66	^C 66,62	^C 79,94
Tejo (<i>Taxus baccata</i>)	^B 0,18	^B 6,30	^B 14,54	^C 31,83	^C 48,32	^C 57,98

TABLA 2. Factores de emisión para la quema de restos de tala de las principales especies forestales de porte arbóreo. Fuente: MITERD (2024).

<i>Especie</i>	<i>Factor de emisión de CH₄ (t CH₄/t materia seca quemada)</i>	<i>Factor de emisión de N₂O (t N₂O/t materia seca quemada)</i>
Leñosas	0,0012	0,00015

TABLA 3. Ecuaciones alométricas para la estimación de la biomasa aérea y subterránea en seco de las principales especies forestales de porte arbóreo. Fuente: ^A elaboración propia, ^B Gracia et al. (2004) y ^C Montero et al. (2005).

Especie	Biomasa aérea total (BAT) (kg)				Biomasa subterránea total (BST) (kg)
Aladierno de hoja ancha (<i>Phillyrea latifolia</i>) Tamarindo (<i>Tamarix spp.</i>) Madroño (<i>Arbutus unedo</i>) Acebo (<i>Ilex aquifolium</i>) Espino albar (<i>Crataegus spp.</i>) Terebinto (<i>Pistacia therebinthus</i>) Aladierno (<i>Rhamnus alaternus</i>) Laurel (<i>Laurus nobilis</i>) Mirto (<i>Myrtus communis</i>)	^B BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BAT * 0,48
	Parámetros	a	b	c	
		0,083	1,938	0,748	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Encina (<i>Quercus ilex</i>)	^B BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BAT * 0,53
	Parámetros	a	b	c	
		0,115	2,079	0,419	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Alcornoque (<i>Quercus suber</i>)	^B BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BAT * 0,29

Especie	Biomasa aérea total (BAT) (kg)				Biomasa subterránea total (BST) (kg)
	Parámetros	a	b	c	
		0,041	1,617	1,285	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Fresno (<i>Fraxinus angustifolia</i>)	^B BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BAT * 0,73
	Parámetros	a	b	c	
		0,039	2,089	0,81	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Algarrobo (<i>Ceratonia siliqua</i>)	^{AyB} BATE (kg) = (a * dn ^b * h ^c) * 1,27				^C BST (kg) = BA * 0,95
	Parámetros	a	b	c	
		0,078	2,064	0,505	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros 1,27: factor interno de ajuste de la alometría a la especie.				
Enebro (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BAT * 3,58
	Parámetros	a	b	c	
		0,06	2,045	0,54	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Olivo (<i>Olea europaea</i>)	^{AyB} BAT (kg) = (a * dn ^b * h ^c) * 1,23				^C BST (kg) = BA * 0,46
	Parámetros	a	b	c	

Especie	Biomasa aérea total (BAT) (kg)				Biomasa subterránea total (BST) (kg)
		0,078	2,064	0,505	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros. 1,23: factor interno de ajuste de la alometría a la especie.				
Olmo (<i>Ulmus minor</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BA * 0,48
	Parámetros	a	b	c	
		0,119	1,863	0,558	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BA * 0,31
	Parámetros	a	b	c	
		0,084	1,955	0,519	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Pino resinero (<i>Pinus pinaster</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BA * 0,28
	Parámetros	a	b	c	
		0,06	2,045	0,54	
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c				^C BST (kg) = BA * 0,18
	Parámetros	a	b	c	
		0,054	2,383	0,108	

<i>Especie</i>	<i>Biomasa aérea total (BAT) (kg)</i>				<i>Biomasa subterránea total (BST) (kg)</i>
	dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				
Plátano (<i>Platanus hispanica</i>) Serbal común (<i>Sorbus aria</i>) Orón (<i>Acer opalus</i>) Sauce blanco (<i>Salix amanecer</i>) Serbal común (<i>Sorbus domestica</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c Parámetros a 0,078 b 2,064 c 0,505 dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				^C BST (kg) = BA * 0,48
Álamo negro (<i>Populus nigra</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c Parámetros a 0,087 b 1,832 c 0,623 dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				^C BST (kg) = BA * 0,32
Sabina negral (<i>Juniperus phoenicea</i>)	^{A y B} BAT (kg) = (a * dn ^b * h ^c) * 0,88 Parámetros a 0,078 b 2,064 c 0,505 dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros. 0,88: factor interno de ajuste de la alometría a la especie.				^C BST (kg) = BA * 0,59
Tejo (<i>Taxus baccata</i>)	^A BAT (kg) = a * dn ^b * h ^c Parámetros a 0,06 b 2,045 c 0,54 dn: diámetro normal del árbol a la altura del pecho (1,3 m), en centímetros. h: altura del árbol, en metros.				^C BST (kg) = BAT * 0,38

TABLA 4. Porcentaje en peso de carbono contenido en la materia de las principales especies forestales de porte arbóreo. Fuente: Montero et al. (2005).

<i>Especie</i>	<i>% carbono</i>	<i>Especie</i>	<i>% carbono</i>
Algarrobo (<i>Ceratonia siliqua</i>)	50	Pino resinero (<i>Pinus pinaster</i>)	51,1
Brezo blanco (<i>Erica arborea</i>)	50	Pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)	50,8

Fresno (<i>Fraxinus</i> spp.)	47,8	Álamo negro (<i>Populus</i> spp.)	48,3
Enebro (<i>Juniperus oxycedrus</i>)	50	Encina (<i>Quercus ilex</i>)	47,5
Sabina (<i>Juniperus phoenicea</i>)	50	Alcornoque (<i>Quercus suber</i>)	47,2
Acebuches (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)	47,3	Otras coníferas	50
Pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	49,9	Otras frondosas	50

TABLA 5. Reparto porcentual de las diferentes fracciones de biomasa de las principales especies forestales de porte arbóreo. Fuente: ^A elaboración propia y ^BMontero et al. (2005).

Especie	% biomasa total (BT)				
	% biomasa subterránea total (BST)	% biomasa aérea total (BAT)	% de la biomasa aérea total correspondiente al tronco y ramas		
			% biomasa del tronco (Bt)	% biomasa de ramas > 2 cm (Bb > 2cm)	% biomasa de ramas < 2 cm y biomasa de hojas (Bb < 2cm y Bf)
Encina (<i>Quercus ilex</i>)	^B 34,6	65,4	^B 28,1	^B 55,6	^B 16,3
Alcornoque (<i>Quercus suber</i>)	^B 22,5	77,5	^B 41,8	^B 53,3	^B 4,9
Algarrobo (<i>Ceratonia siliqua</i>)	^B 48,8	51,2	^B 34,5	^B 40	^B 25,5
Acebuches (<i>Olea europaea</i> var. <i>sylvestris</i>)	^B 31,4	68,6	^B 28,6	^B 55,9	^B 15,5
Álamo negro (<i>Populus nigra</i>)	^B 24	76	^B 69,8	^B 18,2	^B 12
Fresno (<i>Fraxinus</i> spp.)	^B 42,2	57,8	^B 42,2	^B 55,9	^B 15,5
Otras frondosas	^A 32,7	67,3	^A 52,5	^A 35,1	^A 12,4
Pino carrasco (<i>Pinus halepensis</i>)	^B 23,6	76,4	^B 48,4	^B 23,8	^B 27,8
Pino resinero (<i>Pinus pinaster</i>)	^B 22,1	77,9	^B 79,5	^B 6,5	^B 14
Pino piñonero (<i>Pinus pinea</i>)	^B 15,5	84,9	^B 43,1	^B 34,5	^B 22,4
Otras coníferas	^A 27,4	72,6	^A 59,3	^A 19,5	^A 21,2

TABLA 6. Criterios para realización del inventario forestal de seguimiento. Fuente: elaboración propia.

El inventario forestal que tiene que realizarse será dendrométrico estratificado. Por esto, habrá que dividir la masa forestal en estratos, es decir, en unidades homogéneas en estructura y composición de especies. Dentro de cada estrato se definirá una intensidad de muestreo y la forma de distribución de las parcelas. Los criterios que tienen que aplicarse son los siguientes:

- La intensidad de muestreo que se propone es, como mínimo, de 3 parcelas por estrato y como máximo de 1 parcela por cada 3 hectáreas del mismo estrato.

En el caso de estratos de grandes dimensiones, la intensidad de muestreo no tendría que sobrepasar el 0,4 % de su superficie o las 60 parcelas en un mismo estrato.

- La distribución de las parcelas tiene que evitar la subjetividad, por lo que podrán distribuirse de forma aleatoria o usando una malla.
- La forma de las parcelas será circular y de 12 m de radio (tiene que permitir la medición de entre 15 y 25 árboles). A los árboles se medirán, como mínimo, los parámetros necesarios para aplicar las ecuaciones alométricas de biomasa total (aérea y subterránea) de la *Tabla 3*. Además, el centro de las parcelas se marcará sobre terreno con un elemento identificable para futuras medidas (estaca metálica, por ejemplo) y se anotarán sus coordenadas con GPS de precisión submétrica.
- La periodicidad del inventario será de como mínimo cada 5 años desde el momento de la plantación o establecimiento del regenerado natural. El último inventario se realizará justo después de aplicar la primera intervención.

Los criterios definidos anteriormente se aplicarán en caso de que el proyecto de absorción se limite a plantar o establecer el regenerado natural (periodo entre plantación y primera intervención), y que se corresponden con las *Parcelas de seguimiento del escenario de gestión*. En cambio, si el proyecto de absorción quiere ir más allá como proyecto de gestión forestal y alargar su vigencia a futuras intervenciones silvícolas que requiera la masa, en cada una de las parcelas de seguimiento del escenario de gestión se le tendrá que establecer otra parcela adyacente, la cual servirá para hacer el seguimiento del escenario de no gestión. Estas parcelas serán las *Parcelas de seguimiento del escenario de no gestión*.

En caso de que el inventario se haga aplicando alguna tecnología, como por ejemplo LiDAR, tendrá que conseguir unos resultados equivalentes a los que se pretenden conseguir con el inventario convencional descrito en esta tabla.

<i>Parcelas de seguimiento del escenario de gestión</i>	<i>Parcelas de seguimiento del escenario de no gestión</i>
Las características principales serán: - El área estará sometida a los tratamientos de gestión forestal planificados. - La toma de datos se hará justo después de la intervención del rodal. - Forma circular y con un radio de 12 m.	Las características principales serán: - El área quedará excluida de los tratamientos de gestión forestal planificados y tendrá el objetivo de demostrar la falta de estímulo de crecimiento derivado de la intervención silvícola. - Para evitar la afectación por los tratamientos, habrá que delimitar claramente su perímetro antes de la intervención. - La toma de datos se hará justo después de la intervención del rodal, a fin de coincidir con la toma de datos de las <i>Parcelas de seguimiento del escenario de gestión</i>. - Su ubicación será al lado de las <i>Parcelas de seguimiento del escenario de gestión</i>, pero sin que intercepten sus áreas. - Forma circular y con un radio de 17 m. - Dentro del área de los 12 m de radio se realizarán las medidas pertinentes de los parámetros definidos para el inventario. - El área comprendida entre los 12 m y 17 m de radio quedará excluida de

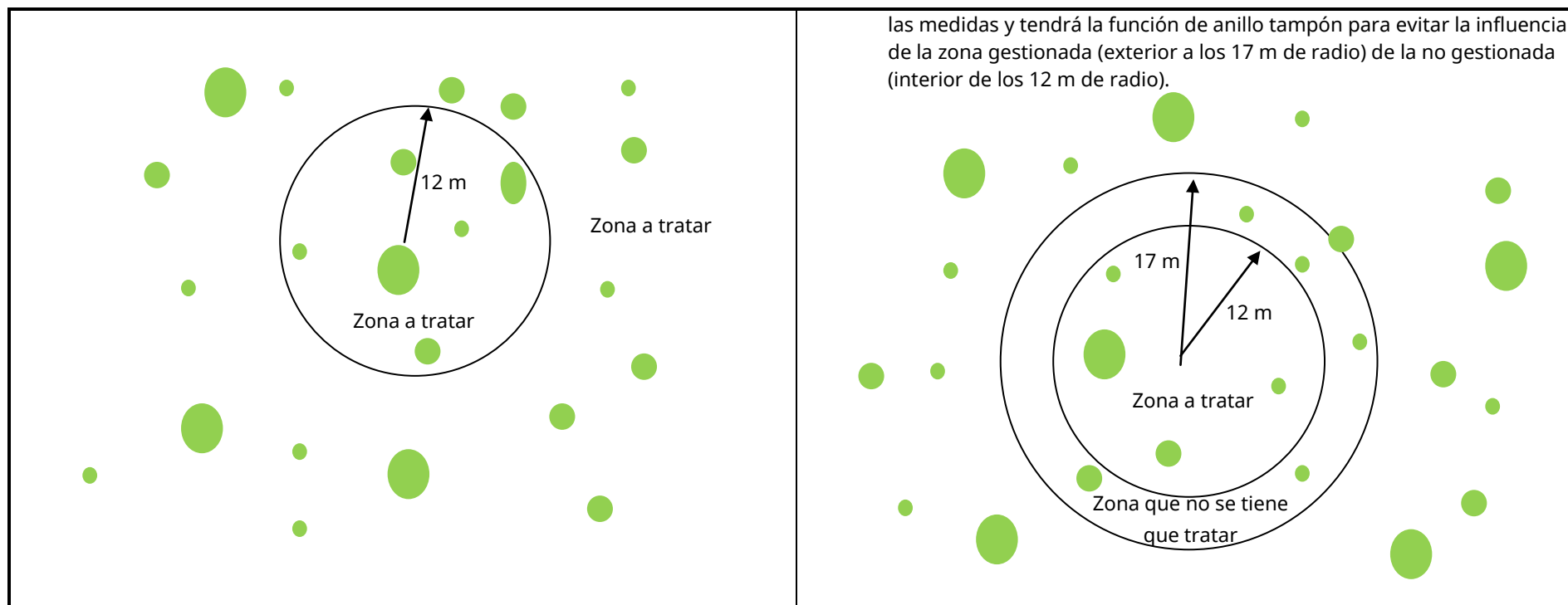


TABLA 7. Factores de emisión de referencia de la maquinaria utilizada según el tipo de tratamiento silvícola. Fuente: ^A elaboración propia y ^B Cervera et al. (2005).

<i>Tipo de tratamiento</i>	<i>Emisiones de la maquinaria</i>
Desbroce	^B 0,0672 t CO ₂ /ha
Aclareo de plantío	^B 0,0448 t CO ₂ /ha
Aclareo y tala selectiva	^B 0,4741 t CO ₂ /ha
Tala de regeneración	^B 0,3235 t CO ₂ /ha
Transporte en camión de planta o producto maderable	^A 0,77 t CO ₂ e/km
Apertura mecanizada de hoyos	^A 0,4818 t CO ₂ e/hoyo
Surcado con subsolador	^A 39,14 t CO ₂ e/km

BIBLIOGRAFÍA

- Ameztegui, A.; Torné, G. (2020). *Capacitat d'emmagatzematge de carboni de les principals espècies forestals de Catalunya*. Informe interno LIFE CLIMARK.
- Cervera, T.; Baiges, T.; Rabascall, X.; et al. (2022). *Metodología de cálculo del impacto de la gestión forestal en los servicios ecosistémicos: carbono, agua y biodiversidad*. Centro de la Propiedad Forestal, Santa Perpètua de Mogoda. [en línea], https://lifeclimark.eu/wp-content/uploads/2022/05/libro_metodologia_castella_vfinal.pdf, [consulta: 14 de abril de 2025].
- Gracia, C.; Burriel, J. A.; Ibàñez, J.; Mata, T.; Vayreda, J. (2004). Inventari ecològic i forestal de Catalunya. Mètodes. Bellaterra: CREAF. ISBN: 84-932860-2-8. [en línea], <http://www.creaf.uab.es/iefc/pub/metodes/index.htm>, <https://laboratoriforestal.creaf.cat/allometrapp/>, [consulta: 14 de abril de 2025].
- MITERD (2023). *Calculadora de absorciones ex-ante de dióxido de carbono de las especies forestales arbóreas españolas* (Versión 6). [en línea], <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.html> [consulta: 14 de abril de 2025].
- MITERD (2024). *Documento de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2022* (edición 2024). [en línea], <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-.html>, [consulta: 14 de abril de 2025].
- Montero, G., Ruiz-Peinado, R., Muñoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles*. INIA. ISBN: 84-7498-512-9. [en línea], https://www.researchgate.net/publication/235639682_produccion_de_biomasa_y_fijacion_de_co2_por_los_bosques_espanoles [consulta: 14 de abril de 2025].