

Informe de cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero

Proyecto: Gestión forestal para la adaptación y mitigación: diversificación estructural y específica de pinares mediterráneos de repoblación (AGL2016-77863-R)





Índice

1.	Introducción	4
2.	Objetivos del inventario	5
3.	Descripción del proyecto	5
3.1	Límites físicos.....	7
3.2	Límites organizativos.....	8
3.3	Límites socioeconómicos	8
4.	Límites del informe	8
4.1	Emisiones y remociones directas de GEI.....	9
4.1.1	Categoría 1. Emisiones directas de GEI	9
4.2	Emisiones indirectas de GEI	9
4.2.1	Categoría 3. Emisiones indirectas de GEI producidas por el transporte	10
4.2.2	Categoría 4. Emisiones indirectas de GEI causadas por productos/servicios que usa el proyecto.....	10
4.3	Exclusiones	10
5.	Inventario de emisiones de GEI.....	10
5.1	Identificación de las fuentes y sumideros de GEI	11
5.2	Metodología de cuantificación.....	11
5.3	Emisiones de GEI.....	11
5.4	Factores de emisión	12
5.5	Cálculo de las emisiones de GEI totales del proyecto	13
5.6	Huella de carbono relativa.....	14
6.	Incertidumbre e importancia	15
7.	Bibliografía	16



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe recoge el análisis de la Huella de Carono (HC) del proyecto de investigación “*Gestión Forestal para la Adaptación y Mitigación: diversificación estructural y específica de pinares mediterráneos de repoblación*” financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (referencia AGL2016-77863-R) con acrónimo FORADMIT. Este proyecto de investigación ha sido desarrollado por personal investigador, técnicos y colaboradores de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) durante el periodo de cuatro años que comprende desde enero de 2017 a diciembre de 2020.

La HC es un indicador de sostenibilidad ambiental que consiste en la elaboración de un inventario cuantificado de las emisiones y remociones de los gases de efecto invernadero (GEI). Esta HC ha sido considerada por el equipo investigador un paso necesario con el que conocer con mayor detalle los efectos que las actividades asociadas a la gestión forestal poseen en cuanto a emisiones de GEI, completando y mejorando el reconocimiento generalizado de los sistemas forestales como sumideros naturales de GEI.

El cambio climático es un fenómeno global que está introduciendo perturbaciones en todos los ecosistemas del planeta, entre ellos también en los sistemas forestales. De hecho, de manera específica, el cambio climático supone una grave amenaza a la persistencia de muchos sistemas forestales mediterráneos, especialmente aquellos que provienen de repoblaciones de pinares que se instalaron en España durante la segunda mitad del siglo XX, gracias al Plan General de Repoblación Forestal en España (PGRFE).

A los gestores de estos sistemas forestales se les está demandando una gestión que, por una parte, promueva su adaptación a las situaciones emergentes que el cambio climático está causando, optimizando al mismo tiempo su capacidad para mitigarlo; y, por otra, que impulse su transformación para conseguir tener una estructura más compleja, de mayor diversidad y, por tanto, más resilientes, siguiendo una estrategia adaptativa (Rubio et al. 2011; Serrada et al. 2011; FAO, 2013; Rubio et al. 2021).



2. OBJETIVOS DEL INVENTARIO

El estudio de la HC de un producto, de un evento o de una organización tiene como objetivo principal conocer la **contribución al cambio climático** de cualquier actividad llevada a cabo por el ser humano. Bajo este planteamiento entendemos que, al margen de la capacidad de secuestro de carbono que, asociado a la biomasa y al suelo, es capaz de llevar a cabo una masa forestal plantada por la mano del hombre, las actuaciones necesarias para su implantación o/y para su correcto mantenimiento también pueden suponer emisiones de GEI. En este sentido, el análisis que se ha realizado es el cálculo de la HC de un proyecto de investigación –FORADMIT- con la particularidad de que, para llevar a cabo los objetivos científicos previstos, ha de ejecutar en el monte una serie de actividades selvícolas homologables a algunas de las que habitualmente se desarrollan en la gestión de cualquier masa forestal.

La responsabilidad de la elaboración de este informe recae sobre el equipo investigador de FORADMIT de la UPM.

Este informe **es una adaptación** de los requisitos establecidos en la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019: *“Gases de efecto invernadero. Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de organizaciones, para la cuantificación y el informe de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero”*.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

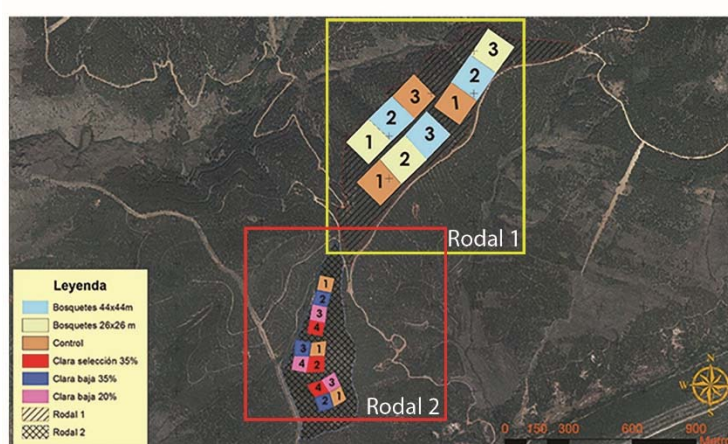
La cuantificación de las emisiones de GEI que recoge este informe se centra en el proyecto de investigación FORADMIT, desarrollado por personal docente e investigador, equipo técnico y colaboradores de la E.T.S.I. de Montes, Forestal y del Medio Natural de la Universidad Politécnica de Madrid, en el Monte de Utilidad Pública nº 261, denominado “Jócar”, sito en el municipio de Arbankón, provincia de Guadalajara. Dicho monte fue repoblado en 1970 por el Patrimonio Forestal del Estado, a través del PGRFE. La repoblación se realizó mediante acaballonado con desfonde con una densidad de plantación de unos 2.500 pies por hectárea, habiéndose realizado en 1999 un tratamiento selvícola de peso aproximado 50 % en número de pies.



Con el fin de alcanzar los objetivos establecidos en el proyecto FORADMIT una zona del monte se dividió en dos rodales, en los cuales se instaló el siguiente dispositivo experimental:

- Rodal 1: Dispositivo experimental para desarrollar la entresaca por bosquetes (recuadrado en amarillo en la figura 1)
- Rodal 2: Dispositivo experimental para el desarrollo de las distintas claras y la posterior plantación de núcleos de dispersión (recuadrado en rojo en la figura 1).

Figura 1. Plano general del monte. Distribución de rodales, bloques y parcelas.



En el rodal 1 (tratamiento de entresaca por bosquetes) se estudian tres ambientes diferentes:

- Bosquete control, a partir de una superficie circular de 10 metros de radio.
- Bosquetes grandes, a partir una superficie circular con un radio 2,5 veces la altura dominante de la masa.
- Bosquetes pequeños, a partir de una superficie circular con un radio 1,5 veces la altura dominante de la masa.

Durante el final del invierno y principio de la primavera de 2018 se cortaron 9 bosquetes grandes y un total de 27 bosquetes pequeños.

En el rodal 2 se han planteado las claras de distinta intensidad que han dado lugar a 4 ambientes

- Control, sin intervención
- Clara baja de peso moderado a fuerte: 20 % en área basimétrica
- Clara baja, de peso fuerte a muy fuerte: 35 % en área basimétrica



- Clara alta, con selección de árboles de porvenir, de peso fuerte a muy fuerte: 35 % en área basimétrica, con selección de 100 árboles de porvenir por hectárea y eliminación de aproximadamente dos competidores por árbol de porvenir.

El apeo de los árboles se realizó con motosierra y la saca por arrastre con Skidder. Los restos de corta se eliminaron mediante apilado y quema.

Para conocer más detalles sobre el dispositivo experimental visite su página web: https://blogs.upm.es/foradmit/?page_id=156.

3.1 LÍMITES FÍSICOS

El M.U.P. nº 261 “Jócar”, del T.M. de Arbancón (Guadalajara) es una masa de repoblación con mezcla de dos especies, *Pinus nigra ssp. salzmanii* y *Pinus pinaster ssp. mesogeensis*, con unos 50 años de edad. La superficie total del monte supera las 2.100 hectáreas, si bien, a efectos de este informe de HC los límites físicos del área de análisis van a ser los correspondientes al entorno donde se han desarrollado las actividades selvícolas del proyecto enmarcadas entre las coordenadas UTM recogidas en la Tabla 1. Si bien, la superficie del monte que puede considerarse directamente afectada por las labores selvícolas son unas 25 hectáreas, que quedan enmarcadas por las líneas amarillas de la figura 2.

Figura 2. Área general (línea roja) y área afectada por las labores selvícolas (línea amarilla) que ha sido considerada para el análisis de la huella de carbono del proyecto.





VÉRTICE	Coordenada X-UTM	Coordenada Y-UTM
N	485621	4539808
S	485906	4539573
E	484964	4537797
W	484314	4538688

Tabla 1: Coordenadas UTM del área objeto de análisis

3.2 LÍMITES ORGANIZATIVOS

La labor investigadora del proyecto FORADMIT consiste en el desarrollo de modelos de gestión forestal con criterios de adaptación, mitigación y mejora de la resiliencia de pinares adultos procedentes de repoblación. El proyecto ha llevado a cabo la instalación de un dispositivo experimental y demostrativo en repoblaciones realizadas por el PGRFE en la provincia de Guadalajara para estudiar y alcanzar los siguientes objetivos científicos en el M.U.P. nº 261:

- Caracterizar la respuesta inmediata del sistema forestal y edáfico a distintos tratamientos selvícolas.
- Caracterizar la respuesta postransplante de especies introducidas bajo cubierta.
- Evaluar la sostenibilidad de las actuaciones selvícolas al incorporar el indicador huella de carbono en la gestión de pinares de repoblación.

3.3 LÍMITES SOCIOECONÓMICOS

El límite económico del análisis realizado viene determinado por el presupuesto del proyecto FORADMIT, en el que queda incluido el gasto de las actividades desarrolladas.

Por otro lado, con el fin de estimar la HC relativa, es necesario conocer la superficie considerada en este análisis, en este caso no es la superficie total del M.U.P. nº 261, sino solo las aproximadamente 25 hectáreas comprendidas dentro de las zonas enmarcadas en amarillo de la figura 2.

4. LÍMITES DEL INFORME

Una vez se han definido los límites del proyecto (como responsable de las emisiones consecuencia de la ejecución de las actividades selvícolas), es necesario determinar los límites del informe.



En los estándares de referencia de cuantificación de emisiones de GEI se indica la obligación de identificar, categorizar y reportar todas las emisiones y remociones directas e indirectas de GEI asociadas a las operaciones que **son controladas** por la organización, en este caso, todas las actividades vinculadas a la consecución del proyecto FORADMIT.

De esta manera, se incluirán en los cálculos todas las emisiones directas identificadas (emisiones de categoría 1), así como las emisiones indirectas causadas por el transporte (emisiones de categoría 3) y las asociadas al uso de servicios (emisiones de categoría 4). La clasificación de las emisiones de GEI se detalla a continuación.

4.1 EMISIONES Y REMOCIONES DIRECTAS DE GEI

Las emisiones y remociones directas de GEI proceden de fuentes o sumideros de GEI que se encuentran dentro de los límites del proyecto, por lo que, pertenecen o son controladas por dicho proyecto.

4.1.1 Categoría 1. Emisiones directas de GEI

Las emisiones directas de GEI se deben cuantificar en toneladas de CO₂ equivalente (CO₂e).

En el caso del proyecto de investigación FORADMIT, las emisiones de categoría 1 se subcategorizan en

- emisiones directas procedentes de la **combustión móvil**, que son consecuencia del consumo de combustible en el uso de vehículos y maquinaria en propiedad y en alquiler
- **emisiones fugitivas directas** causadas por las quemas controladas de residuos forestales, que se deben cuantificar como emisiones biogénicas antropogénicas

4.2 EMISIONES INDIRECTAS DE GEI

En cada categoría de emisiones indirectas, se han identificado y evaluado sus emisiones para seleccionar las que resultan significativas.



4.2.1 Categoría 3. Emisiones indirectas de GEI producidas por el transporte

Dentro de las emisiones indirectas de GEI producidas por el transporte, se incluyen las emisiones causadas por los **viajes de trabajo**. Esta subcategoría hace referencia a los viajes que realiza el equipo investigador de la organización, derivados de las funciones de su puesto. En ella se incluyen las emisiones generadas por los **traslados en cualquier medio de transporte externo** y las **estancias en hotel, hostel o pensión**.

4.2.2 Categoría 4. Emisiones indirectas de GEI causadas por productos/servicios que usa el proyecto

En el año 2017 se hizo **uso del servicio** de una empresa maderista a la que se hizo el encargo de realizar los trabajos de cortas y desembosque en las parcelas de investigación del proyecto. A lo largo del proyecto muy puntualmente también se ha contado con el apoyo de otra empresa (LIGUNUM Forestal) que ha llevado a cabo diferentes labores de seguimiento. Se consideran todas las emisiones de GEI derivadas de estas actividades que proceden de la **combustión móvil**, asociada al consumo de combustible fósil por parte de los vehículos, así como de la maquinaria utilizada.

4.3 EXCLUSIONES

La Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019 seguida en este análisis establece que se pueden excluir las fuentes y los sumideros de GEI cuya contribución a las emisiones o remociones de GEI no sean relevantes. Así, el criterio utilizado para evaluar la significación de las emisiones indirectas ha sido excluir aquellas que supongan menos del 1% de las emisiones de GEI totales estimadas (IPCC, 2006).

5. INVENTARIO DE EMISIONES DE GEI

La Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019 establece que el proceso de cuantificación de las emisiones de GEI debe realizarse mediante las fases que se describen a continuación.



5.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES Y SUMIDEROS DE GEI

Se deben identificar y documentar todas las fuentes de emisión importantes incluidas en sus límites de informe, de acuerdo con las categorías definidas en la Norma UNE-EN ISO 14064-1:2019.

Una vez identificadas las fuentes o sumideros de GEI, a partir de los criterios de elección de los límites operativos y las exclusiones, estos se pueden clasificar por categorías, tal y como muestra la tabla 2.

CATEGORÍA 1. Emisiones directas de GEI Emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles en combustión móvil, asociado al uso de vehículos y maquinaria forestal en propiedad o en alquiler. Emisiones directas a partir de biomasa.
CATEGORÍA 3. Emisiones indirectas de GEI causadas por el transporte Emisiones causadas por los viajes de trabajo. Se incluyen los desplazamientos realizados en cualquier medio de transporte externo y las estancias de hotel
CATEGORÍA 4. Emisiones indirectas de GEI causadas por productos o servicios que utiliza el proyecto Emisiones derivadas del uso de servicios que no se describen en ninguna de las subcategorías anteriores. Se incluyen las emisiones causadas por el consumo de combustibles fósiles en combustión móvil por parte de los vehículos y maquinaria forestal

Tabla 2: Fuentes de emisión de GEI según categorías en FORADMIT.

5.2 METODOLOGÍA DE CUANTIFICACIÓN

Para el cálculo de las emisiones y remociones directas e indirectas de GEI se emplea una metodología basada en cálculos numéricos.

La elección de este método viene determinada por el tipo de datos recopilados en el proyecto, ya que se trata de **datos directos** de los consumos energéticos justificados en el control de gastos del proyecto. Además, es el método más exacto de obtener las emisiones de GEI de una organización.

5.3 EMISIONES DE GEI

Las emisiones de GEI se obtienen aplicando la ecuación 1, que consiste en la multiplicación de los consumos energéticos recopilados por los factores de emisión correspondientes.



$$\text{Emisiones (kg CO}_2\text{)} = \text{Consumos (un)} \times \text{Factor de emisión (kgCO}_2\text{/un)}$$

Ecuación 1

Donde “un” indica las unidades de cada consumo energético considerado.

La ecuación 1 da como resultado las emisiones de GEI para cada consumo considerado dentro del inventario, expresado en toneladas de CO₂e.

La eliminación de los restos de las cortas realizadas en el rodal 1 y en el rodal 2 (ver figura 1) mediante quemas controladas suponen unas emisiones de GEI que se han determinado mediante la ecuación 2.

$$L_{\text{fuego}} = A \times M_B \times C_f \times G_{ef} \times 10^{-3}$$

Ecuación 2

Donde,

L_{fuego} = cantidad de emisiones de GEI provocadas por el fuego, en toneladas de cada GEI.

A = superficie quemada, en hectáreas.

M_B = masa de combustible disponible para la combustión, (t/ha). Incluye biomasa, hojarasca molida y madera muerta. Se supone que los depósitos de hojarasca y madera muerta equivalen a cero, a excepción de que haya un cambio de uso de tierra.

C_f = factor de combustión, sin dimensión.

G_{ef} = factor de emisión, g/kg de materia seca quemada.

Para más detalles consultar Muñoz (2018).

5.4 FACTORES DE EMISIÓN

Para el cálculo de las emisiones de GEI se utilizan factores de emisión procedentes de organismos que son referentes en el ámbito de la cuantificación de emisiones de GEI: MITECORD (2021), IPCC (2006), etc.



5.5 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE GEI TOTALES DEL PROYECTO

El proceso de cálculo de las emisiones de GEI para cada tipo de fuente de emisión se ha elaborado de forma separada y en función de los datos disponibles, para poder así obtener cada HC de manera independiente.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las emisiones de GEI de FORADMIT, expresados en **toneladas de CO₂e**, según las fuentes de emisión que se han identificado dentro de las categorías 1, 3 y 4, para el periodo de tiempo de cuatro años: 2017-2020 (tabla 3).

Categoría	Fuente de emisión	Emisiones de CO ₂ e (t)			
		2017	2018	2019	2020
1	Combustión móvil	5,38	8,37	3,76	4,16
	Combustión de biomasa	0,00	74,25	0,00	0,00
3	Viajes de trabajo	0,94	0,21	0,33	0,24
	Viajes en avión	0,43	0,00	0,00	0,00
	Viajes en tren	0,08	0,04	0,04	0,02
	Estancias de hotel	0,43	0,18	0,29	0,24
4	Uso de servicios	3,22	0,00	0,00	0,00
	Combustión móvil	3,22	0,00	0,00	0,00
TOTALES		9,53	82,83	4,09	4,40

Tabla 3: Cuantificación de las emisiones de GEI de FORADMIT, años 2017-2020.

Las emisiones totales de GEI de las actividades del proyecto de investigación FORADMIT desde el año 2017 al año 2020, ascienden a **100,86 toneladas de CO₂e**.

A continuación, en la tabla 4, se muestra la distribución de estas emisiones por categorías.

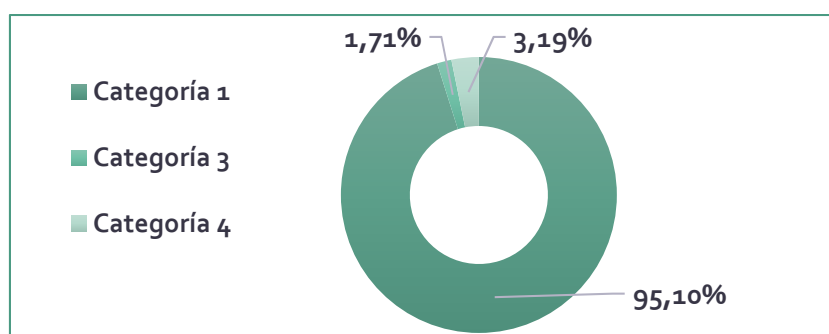
Si analizamos los datos desde una perspectiva gráfica, se observa que la fracción más importante de las emisiones del proyecto son las correspondientes a la categoría 1, emisiones directas, superando el 95% (Figura 3).



Categoría	EMISIONES DE GEI
	t CO ₂ e
1	95,92
3	1,72
4	3,22
TOTALES	100,86

Tabla 4: Emisiones de GEI de FORADMIT según categorías.

Figura 3. Reparto en % de la Huella de carbono según categorías.



Desglosando las emisiones de categoría 1 se observa que el consumo de combustibles de los vehículos controlados por la organización alcanza el 21,48% de las emisiones totales, mientras que las emisiones directas de la quema de biomasa (de los restos de las cortas) es la fuente de emisión que más contribuye a la HC de esta categoría y de la totalidad del proyecto, con un 73,62% de las emisiones. Esto da pie a múltiples lecturas que se abordarán en artículos científicos a publicar próximamente por el equipo de investigación FORADMIT, pero que pueden saltar a la vista de los lectores más avezados.

5.6 HUELLA DE CARBONO RELATIVA

Los valores absolutos de HC son necesarios en este tipo de estudios, pero conocer los valores relativos de HC resulta más interesante para poner en contexto las cifras del proyecto, ya que permite hacer comparaciones con otros estudios análogos o futuros. En este sentido se ha calculado la ratio de HC de FORADMIT en función de la superficie de monte que recibe los tratamientos selvícolas y es objeto de investigación. Así, se ha establecido que el área en el monte que ha sido directamente afectada por las



actuaciones selvícolas es de 25 hectáreas (figura 2), abarcando los dos rodales que tienen los distintos tratamientos: bosquetes y claras.

Con estas consideraciones en el proyecto FORADMIT, durante el periodo de tiempo de cuatro años, desde 2017 a 2020, las emisiones en toneladas de CO₂e por hectárea son:

4,03 t CO₂e/ha

No obstante, se puede hacer un ejercicio especulativo dejando de considerar las emisiones derivadas de eliminar los restos de las cortas y así ver que el valor relativo sería de 1,06 t CO₂e/ha, si bien esta asunción implicaría dejar los restos sobre el terreno o proceder a su eliminación mediante otros métodos (circunstancias no contempladas en el proyecto).

6. INCERTIDUMBRE E IMPORTANCIA

Siguiendo la propuesta metodológica se ha de evaluar la incertidumbre asociada a las emisiones y absorciones a nivel de la categoría del inventario de GEI.

La estimación cuantitativa de la incertidumbre es una combinación de las emisiones y absorciones de GEI, asociadas a los datos de actividad (datos directos de los consumos energéticos y datos estimados) y a los factores de emisión y absorción seleccionados.

De manera concreta, para evaluar la incertidumbre se sigue la metodología que se define en el documento *“Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”* (IPCC, 2001). De esta manera:

- Los factores de emisión y absorción han sido seleccionados de fuentes oficiales, priorizando siempre la procedencia nacional. Esto permite suponer que la incertidumbre de los factores de emisión es baja o nula.
- Los datos de actividad de los consumos energéticos directos han sido facilitados por las personas responsables de su gestión.

La incertidumbre del inventario de GEI de las Categorías 1 y 4 de FORADMIT para el periodo de tiempo considerado en este proyecto (2017-2020) se ha estimado en **5,41%**.



7. BIBLIOGRAFÍA

FAO, 2013: Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales, Estudio FAO Montes N°172. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

IPCC, 2001. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. [Equipo de redacción principal: Penman, J.; Kruger, D.; Galbally, T.; Hiraishi, T.; Nyenzi, B.; Emmanul, S.; Buendía, I.; Hoppaus, R.; Martinses, T.; Meijer, J.; Miwa, K. y Tanabe, K.]. IPCC. Suiza

IPCC, 2006. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.

Ministerio para la Transición Ecológica (MITECORD), 2021. Factores de Emisión. Registro de Huella de Carbono, Compensación y Proyectos de Absorción de Dióxido de Carbono. Oficina Española de Cambio Climático.

Muñoz, M.S., 2018. Cuantificación de la Huella de carbono en plantación de pinares: Producción en vivero y valoración de trabajos forestales. Trabajo Fin de Carrera. Universidad Politécnica de Madrid.

Rubio, A., Gavilán, R.G., Montes, F., Gutiérrez-Girón, A., Díaz-Pinés, E. & Mezquida, E.T. 2011. Biodiversity measures applied to stand-level management: Can they really be useful? *Ecological Indicators*, 11: 545-556.

Rubio, A., Calama, R. & de la Cruz, S. 2021. La gestión de los bosques, clave en la lucha contra el cambio climático. *The Conversation*. ISSN 2201-5639

Serrada, R., Aroca, M^a J., Roig, S., Bravo, A. & Gómez, V. 2011. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector forestal. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Equipo FORAMIT. 2021. ©