



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1255

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: **978-84-941695-7-1**

Organiza





Mejora de las herramientas de cálculo de carbono en los proyectos forestales de absorción en Asturias

GONZÁLEZ-GARCÍA, M. (1), GUTIÉRREZ SAN MILLÁN, E. (2) y MARTÍNEZ ALONSO, C. (1)

(1) Fundación Centro Tecnológico Forestal y de la Madera de Asturias (CETEMAS).
 (2) Servicio de Calidad del Aire y Cambio Climático, Consejería de Transición Ecológica, Industria y Desarrollo Económico del Gobierno del Principado de Asturias.

Resumen

El Registro Asturiano de Huella de Carbono se puso en funcionamiento en 2021 con el objetivo de regular la reducción, absorción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero en el Principado de Asturias. Para cuantificar las absorciones de los proyectos forestales de la Sección B del registro, que engloba a los proyectos de absorción de CO₂, se realizó una propuesta metodológica de cálculo de carbono adaptada a distintos sistemas forestales del norte de España. Estos cálculos se centran en especies productivas de las que se dispone de información y herramientas predictivas: *Castanea sativa*, *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, *Pinus sylvestris*, *Eucalyptus globulus*, *Betula alba*, *Quercus robur* y *Pseudotsuga menziesii*. Los resultados de las absorciones obtenidas para las distintas especies se compararon con los valores de las metodologías empleadas en la calculadora de CO₂ del MITECORD y la OECC, encontrándose en la mayor parte de los casos una estimación de las absorciones superior en las distintas especies seleccionadas. Por ello, se procedió a realizar una actualización de la herramienta del Ministerio para incorporar en el registro asturiano la cuantificación de las absorciones de CO₂ de las especies estudiadas, proporcionando estimaciones más precisas y ajustadas para las especies productivas del norte de España.

Palabras clave

CO₂, especies forestales, cambio climático, biomasa, compensación.

1.Introducción

Bajo el marco del Pacto Verde, la Unión Europea ha adquirido el compromiso de reducir los gases efecto invernadero (GEI) en un 55% para el año 2030 respecto a los niveles del año 1990, con la finalidad de alcanzar la neutralidad climática en 2050 y lograr una transición verde sostenible (Comisión Europea, 2021). Dentro de este ambicioso marco se encuentra la Nueva Estrategia Forestal de la UE (2020), que pretende responder a los desafíos a los que se enfrentan los bosques y el sector forestal. El principal objetivo de la estrategia es garantizar unos bosques sanos y resilientes que contribuyan a la biodiversidad, a los objetivos climáticos y a la seguridad de los medios de subsistencia, que apoyen a la bioeconomía circular, y se centren en la protección, la restauración y la gestión forestal sostenible (Comisión Europea, 2021). Con ello, se conseguirá aumentar el potencial de los bosques para absorber y almacenar CO₂ y reducir el impacto y la extensión de los incendios.

En este contexto, el Gobierno del Principado de Asturias aprobó la Estrategia Asturiana de Acción por el Clima, este documento incluye 125 medidas dirigidas a atender dos retos fundamentales: avanzar hacia una economía neutra en carbono a través de una transición justa, basada en los principios del desarrollo sostenible,



y minimizar la vulnerabilidad del territorio y de la sociedad frente a los efectos negativos del cambio climático. Previamente, en el año 2021 el Gobierno del Principado de Asturias crea el Registro de Huella de Carbono (Decreto 40/2021), con el fin de reducir las emisiones de GEI generadas en su territorio, en particular las ligadas a la actividad económica, mediante la aplicación de medidas sectoriales más eficientes y, en último término, compensando aquellas que no puedan ser evitadas aprovechando el elevado potencial de las áreas forestales de la región.

El registro asturiano se enmarca en el mercado voluntario de créditos de carbono, que es un mercado que funciona independientemente al mercado regulado obligatorio de créditos de carbono, pero en paralelo, permitiendo a las empresas privadas y a las iniciativas particulares de los sectores difusos adquirir compensaciones de carbono de manera voluntaria. Desde el año 2005, los mercados voluntarios de carbono han permitido la reducción o absorción de 437 Mt de CO₂ a nivel mundial (PROCTON et al., 2024) y en el ámbito nacional y europeo son cada vez más numerosos los proyectos voluntarios de carbono forestal. En este contexto, la creación del nuevo registro regional asturiano da un paso hacia la regulación de las iniciativas voluntarias regionales que reduzcan y compensen las emisiones de GEI, permitiendo fomentar e incentivar este tipo de proyectos en la región, de manera más ajustada a las características de la región. El nuevo registro asturiano precisa de una herramienta de cálculo, para conocer las absorciones reales de CO₂ de los proyectos forestales, que incluya los mejores y más adecuados modelos de crecimiento para las principales especies productivas del Principado de Asturias. Es por esto que surge la necesidad de mejorar las herramientas disponibles para el cálculo de las absorciones de CO₂ en los sistemas forestales asturianos.

2. Objetivos

Los objetivos principales del trabajo son evaluar las herramientas disponibles para el cálculo de carbono en los sistemas forestales del norte de España para realizar una propuesta metodológica de cálculo de CO₂ que mejore las estimaciones existentes en la actualidad para esta región.

3. Metodología

3.1. Especies y modelos forestales

El trabajo desarrollado se inició con una exhaustiva revisión de las metodologías existentes en la actualidad para el cálculo de carbono en los sistemas forestales del norte de España. La revisión bibliográfica se centró en la búsqueda de los modelos forestales de las principales especies forestales productivas disponibles en esta área. De los modelos existentes se seleccionaron aquellos más actualizados, que habían sido rigurosamente desarrollados y publicados y que se ajustaban a los requerimientos del proyecto.

En el caso de la información disponible para el territorio asturiano se seleccionaron las siguientes especies: *Pinus pinaster* (pino pinaster, negral o resinero) , *Pinus radiata* (pino radiata o insigne), *Castanea sativa* (castaño) y *Eucalyptus globulus* (eucalipto globulus o azul). Para la especie *P. pinaster* se utilizaron los modelos dinámicos de crecimiento y la ecuación de producción desarrolladas por Arias-Rodil et al., (2016ab). En el caso de pino radiata se emplearon como referencia las tablas de producción publicadas para esta especie en Asturias (CANGA, 2008). Para castaño se emplearon las tablas de producción desarrolladas por MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ et al., (2016) y los modelos dinámicos de

PRADA et al., (2019). Y finalmente para *E. globulus* se tomó como referencia un estudio técnico realizado para Asturias y la zona oriental de Galicia (TOLOSANA et al., 2004) realizando adicionalmente un análisis comparativo con los modelos disponibles en Galicia para esta especie (GARCÍA-VILLABRILLE, 2015).

Del mismo modo, se buscó información de otras regiones del norte de España con especies forestales que podrían ser empleadas en repoblaciones en Asturias para poder calcular posteriormente los valores de sus absorciones de carbono. Finalmente se seleccionaron las especies: *Pinus sylvestris* (pino silvestre o albar), *Betula alba* (abedul blanco), *Quercus robur* (roble común o carballo), *Pseudotsuga menziesii* (abeto de Douglas o pino de Oregón) a partir de la información disponible fundamentalmente en Galicia y distintas provincias del norte de España. Aunque algunas de estas herramientas no hayan sido desarrolladas exactamente para Asturias pueden ser de referencia ya que, en términos de productividad, se asemejan más por sus características a los ecosistemas existentes en la región que los empleados en la calculadora estatal de MITECORD y la OECC, que emplean valores de otras regiones muy diferentes o valores medios unificados para todo el territorio de España.

En el caso de pino silvestre se seleccionaron los modelos dinámicos desarrollados por DIÉGUEZ-ARANDA et al., (2006a). Para la especie *Betula alba* se consideraron las tablas de producción de Rojo et al., (2005) y las curvas de calidad de estación de DIÉGUEZ-ARANDA et al., (2006b) incorporando en este caso una nueva especie a las consideradas en la calculadora ya que, a nivel estatal, sólo se disponía de referencias para el género *Betula* spp. Por otra parte, en el caso de *Quercus robur* se consideraron distintos modelos desarrollados en Galicia (BARRIO-ANTA, 2003; BARRIO-ANTA & DIÉGUEZ-ARANDA, 2005). Y finalmente para abeto de Douglas se consideraron los modelos de crecimiento y gestión de plantaciones ajustados por LÓPEZ-SÁNCHEZ (2009).

3.2 Estimación de la productividad y absorciones de CO₂

La estimación de la producción se realizó empleando los modelos y herramientas descritos en el apartado anterior en cada especie haciendo simulaciones para un rango de edades de 20, 25, 30, 35 y 40 años. Hay que resaltar que los modelos empleados para el cálculo de la producción de cada una de las especies seleccionadas han sido ajustados mediante fuentes de datos asociados a cada trabajo propio de investigación. Estos datos se encuentran dentro de un rango determinado de características de las masas forestales que hacen que disminuya su precisión si se emplean en otras masas forestales fuera de dicho rango de aplicación. En la siguiente tabla se muestran los rangos de edad considerados para las herramientas empleadas.

Tabla 1. Rangos de edad de los modelos forestales empleados para las especies seleccionadas en Asturias.

Especie	Edad (años)	
	Mínima	Máxima
<i>Pinus pinaster</i>	8	63
<i>Pinus radiata</i>	5	55
Castanea sativa	15	55
<i>Eucalyptus globulus</i>	3	14

<i>Pinus sylvestris</i>	12	55
<i>Betula alba</i>	12	60
<i>Quercus robur</i>	34	155
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	8	63

Para las simulaciones del crecimiento se seleccionó la mejor calidad de estación forestal de entre las existentes para cada especie (MITECO, 2019). La densidad inicial de plantación al inicio de la simulación se estableció en aproximadamente 1000 pies/ha, considerando en cada caso la mortalidad natural de las distintas especies empleando para ello los modelos de densidad y/o de mortalidad disponibles (PRADA et al., 2019; ARIAS-RODIL et al., 2016a; GARCÍA-VILLABRILLE, 2015; LÓPEZ-SÁNCHEZ, 2009; DIÉGUEZ-ARANDA et al., 2006b; DIÉGUEZ-ARANDA et al., 2005b; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ et al., 2004; BARRIO-ANTA, 2003). En el caso del roble y el abeto de Douglas el modelo de densidad existente dependía únicamente de la variable altura dominante y se empleó por ello la densidad estimada para cada par de edad y altura dominante en la calidad de estación establecida. Finalmente, en abedul se mantuvo una densidad de 1000 pies/ha, ya que el modelo disponible no proporcionaba una estimación aceptable de la densidad final.

A partir de las simulaciones de las variables de crecimiento, la producción para el cálculo de las absorciones de carbono se estimó para cada edad proyectada en términos de volumen de madera con corteza empleando las ecuaciones de volumen disponibles para cada especie incluidas en los trabajos citados previamente.

En el caso de *Eucalyptus globulus*, debido a la duración de su turno de aprovechamiento, 10-15 años, y viendo que el rango de edad de los datos con los que se han ajustado los modelos es inferior a las proyecciones previstas en la calculadora (20-40 años), el uso de estos modelos implicaría errores considerables en las proyecciones que se ha comprobado que sobrestimarían la producción de madera y en consecuencia las absorciones de carbono. Por ello, en el caso de esta especie se ha decidido calcular el volumen de madera para la mejor calidad de estación (IS=26 m a los 10 años) empleando los modelos disponibles (TOLOSANA et al., 2004) en el rango de edades de los datos base (hasta 14 años) y a partir de esta edad se estima el volumen de madera considerado un crecimiento lineal hasta los 40 años. Esta asunción se realiza también en la calculadora actual del MITECORD con otras especies como *Fagus sylvatica* (haya) o *Abies alba* (abeto blanco) que no disponen de datos en ciertos rangos de edad. Aunque en el caso de las plantaciones con fines productores de *Eucalyptus globulus* es extraño que el turno sobrepase los 20 años y se alargue hasta este rango de edades, esto hará que en el caso de realizarse simulaciones con este tipo de datos no se produzcan sobrestimaciones.

Seguidamente, a partir de la producción de volumen por especie y año se ha realizado el cálculo de absorciones mediante la siguiente fórmula (MITECO, 2021b):

$$\Delta C_{pie} = \sum [V_{n_{cc}} \cdot FC \cdot FEB \cdot X \cdot (1 + R)]$$

(ec. 1)

Donde:

- n : nº de años (edad del ejemplar)
- $V_{n_{cc}}$: volumen maderable con corteza según especie para el año n (m³)
- FC : fracción de carbono de la materia seca (t C / t m.s.)
- FEB : factor de expansión de biomasa para convertir el incremento neto

anual (incluida la corteza) en incremento de biomasa arbórea sobre el suelo (adimensional)

- *D*: densidad madera básica (t m.s. /m³)
- *R*: relación raíz-fuste (adimensional) Los valores de las variables empleados para el cálculo de absorciones de carbono fueron actualizados respecto a los disponibles en la calculadora de CO₂ del MITECORD (MITECO, 2021b) (Tabla 2).

Tabla 2. Factores específicos por especie empleados en el cálculo de absorciones para las especies forestales seleccionadas.

Especie	<i>FEBxD</i> (t m.s./m ³)	<i>R</i>	<i>FC</i> (t C/t m.s.)
<i>Castanea sativa</i>	0,750	0,869	0,484
<i>Pinus pinaster</i>	0,550	0,284	0,511
<i>Pinus radiata</i>	0,440	0,274	0,497
<i>Eucalyptus globulus</i>	0,810	0,495	0,475
<i>Pinus sylvestris</i>	0,620	0,272	0,509
<i>Betula alba</i>	0,730	0,202	0,485
<i>Quercus robur</i>	0,840	0,536	0,484
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,440	0,387	0,500

Notas: *FEBxD*: factor de expansión de biomasa x densidad madera básica, *R*: relación raíz-fuste, *FC*: fracción de carbono.

El factor *FEBxD* fue obtenido para la mayor parte de las especies del Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de España (MITECO, 2021a) mientras que el coeficiente raíz-vástago (*R*) y la fracción de carbono (*FC*) se extrajeron de la publicación de MONTERO et al., (2005), ya que versiones anteriores de la calculadora se empleaba el valor de 0,5 por defecto para todas las especies forestales cometándose un error asumido en el cálculo. Por otra parte, para el cálculo de las absorciones de *Betula alba* se empleó el *FC* de *Betula* spp. y el de *Betula pendula* (abedul común) para el factor *FEBxD* ya que no se dispone en la publicación de valor propio para la especie. Para las especies *Quercus robur* y *Pseudotsuga menziesii* este factor mantuvo el valor disponible en la calculadora de MITECORD (V4) debido a que no se dispone de un valor actualizado (MITECO, 2021a). Los coeficientes raíz-vástago por su parte si fueron actualizados para todas las especies con las referencias de dicho informe.

La calculadora actual de MITECORD calcula el carbono de las distintas especies forestales bajo la misma fórmula base (ec.1) (MITECO, 2021b) empleada para cada pie, considerando a posteriori la densidad final de la masa. El valor de la producción en volumen en función de la edad cambia con cada especie y ha sido calculada para la calculadora MITECORD a partir de distintas metodologías. Por un lado, a partir de fuentes que relacionan directamente el volumen con el tiempo, como las Tablas de producción para los montes españoles (Madrigal et al., 1999) o la Tabla 7 de las publicaciones “Las Coníferas en el primer Inventario Forestal Nacional” y “Las Frondosas en el primer Inventario Forestal Nacional” (1979). Para las especies no incluidas en las publicaciones mencionadas se ha obtenido la relación entre tiempo y diámetro para posteriormente calcular el volumen del Anexo 2 (Ajustes parabólicos D-t) de las publicaciones “Las Coníferas en el primer

Inventario Forestal Nacional” y “Las Frondosas en el primer Inventario Forestal Nacional” (1979) o la Tabla 201 del IFN3 (1997-2007) (MITECO, 2024).

4. Resultados

Los resultados de las estimaciones de volumen de madera con corteza a las edades de 20, 25, 30, 35, y 40 años, empleando los modelos de crecimiento y las ecuaciones de volumen obtenidas para cada especie se muestran en la tabla 2. La especie con mayor productividad en volumen ha resultado ser el *E. globulus* seguida por *P. radiata* que alcanzan para la edad mínima de la simulación a los 20 años unos volúmenes de madera con corteza de 1,024 y 0,462 m³/pie.

Tabla 2. Volumen pie medio de madera con corteza a distintas edades para las especies forestales seleccionadas en el noroeste de España.

Especie	Volumen (m ³ /pie)				
	V20	V25	V30	V35	V40
<i>Castanea sativa</i>	0,277	0,400	0,530	0,665	0,804
<i>Pinus pinaster</i>	0,343	0,535	0,730	0,913	1,081
<i>Pinus radiata</i>	0,462	0,710	1,014	1,402	1,918
<i>Eucalyptus globulus</i>	1,024	1,305	1,585	1,866	2,146
<i>Pinus sylvestris</i>	0,117	0,205	0,310	0,433	0,577
<i>Betula alba</i>	0,152	0,208	0,258	0,301	0,339
<i>Quercus robur</i>	0,056	0,095	0,144	0,200	0,263
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,256	0,504	0,808	1,134	1,453

A partir de los volúmenes de madera calculados anteriormente y con los parámetros para cada especie definidos en la Tabla 2 se realizó el cálculo de las absorciones de carbono para cada edad. Los resultados por especie aparecen en la Tabla 4 mostrando la relación correspondiente entre productividad y absorciones de CO₂.

Tabla 4. Absorciones de CO₂ a distintas edades para las especies forestales seleccionadas en el noroeste de España.

Especie	Absorciones (t CO ₂ /pie)				
	Abs20	Abs25	Abs30	Abs35	Abs40
<i>Castanea sativa</i>	0,690	0,996	1,320	1,655	2,000
<i>Pinus pinaster</i>	0,453	0,708	0,965	1,208	1,430
<i>Pinus radiata</i>	0,472	0,725	1,036	1,432	1,960
<i>Eucalyptus globulus</i>	2,160	2,751	3,343	3,934	4,526
<i>Pinus sylvestris</i>	0,117	0,205	0,310	0,433	0,577
<i>Betula alba</i>	0,152	0,208	0,258	0,301	0,339
<i>Quercus robur</i>	0,056	0,095	0,144	0,200	0,263
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	0,256	0,504	0,808	1,134	1,453

Los valores de absorciones obtenidas para las distintas especies y años en el Noroeste de España se han comparado con los resultados de las distintas

metodologías empleadas en el estudio de los valores en la calculadora de CO₂ del MITECORD que se corresponden con los inventarios forestales nacionales del Ministerio de Agricultura (1980) y el Ministerio de Medio Ambiente (2008). En la figura 1 pueden verse las comparativas entre las absorciones para las distintas edades.

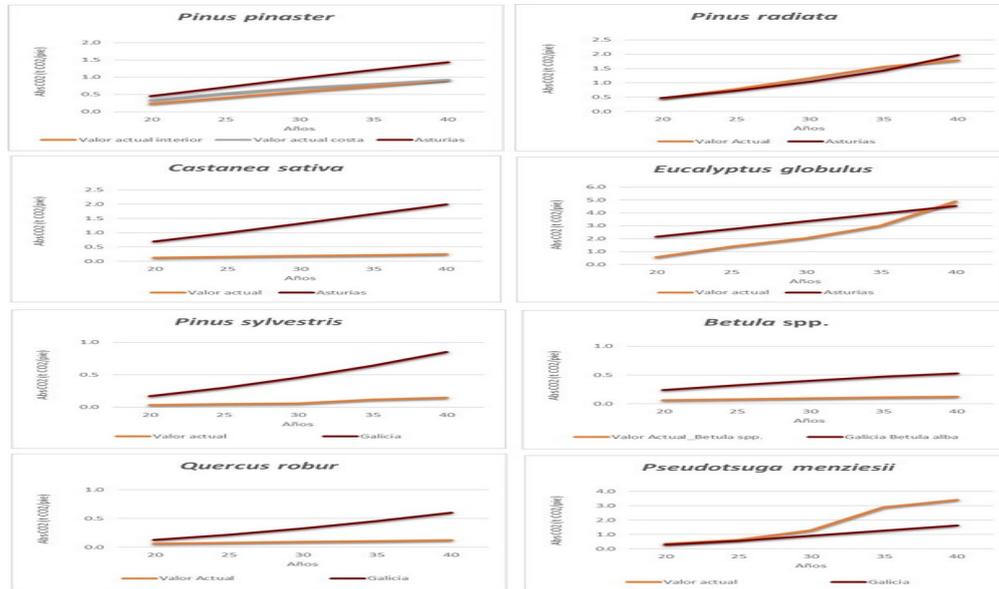


Figura 1. Comparativa de valores de absorciones de CO₂ de las especies seleccionadas del noroeste de España entre los resultados obtenidos en el trabajo y las metodologías empleadas en la calculadora de absorciones del MITECORD y la OECC.

5. Discusión

El estudio comparativo entre el cálculo de las absorciones con modelos específicos para las especies en el norte de España muestra importantes diferencias respecto a los valores empleados a nivel estatal. En la información disponible en Asturias, salvo en el caso del pino radiata que está prácticamente en el mismo rango, la estimación de las absorciones es muy superior en las distintas especies seleccionadas para Asturias con respecto a los valores que se emplean actualmente a nivel estatal en la Calculadora del MITECORD, sobre todo para castaño y eucalipto, donde como se observa en la Figura 1 se ven grandes diferencias. El pino radiata, es una excepción, y está prácticamente en el mismo rango de valores que la herramienta estatal ya que la distribución de esta especie productora de madera está fundamentalmente en la región norte de España correspondiéndose con esta productividad (DGCN, 2012).

En los valores obtenidos para pino silvestre, roble y abedul blanco de Galicia pueden verse mayores absorciones para esta región que los valores para el territorio nacional. En el caso del pino silvestre, los valores con los que comparan son valores de inventarios forestales nacionales del Ministerio de Agricultura (MAPA, 1980) y Ministerio de Medio Ambiente (MITECO, 2008) de regiones en el ámbito del Sistema Central, Sistema Ibérico y Pirineos que tienen por tanto una productividad menor que la calculada para esta zona noroccidental de España. Para *Betula alba* los valores de absorciones de la especie en Galicia se contrastan con el valor nacional para las especies del género *Betula* en los inventarios forestales nacionales donde se realiza una media para toda España del mismo



modo que en las especies *Quercus robur* y *Pseudotsuga menziesii*. Esta última especie, el abeto de Douglas, es la única que en contraposición muestra factores de absorción superiores en la calculadora estatal destacables en las estimaciones a partir de los 30 años.

En líneas generales, la mayor parte de las especies evaluadas presenta una mayor producción en volumen de madera y en consecuencia unas absorciones de carbono muy superiores para el norte de España que los valores de referencia a nivel estatal. Esto implica una subestimación en los cálculos de las absorciones de CO₂ para los proyectos forestales que se inscriben en estas regiones y que por ello se ven penalizados, pudiendo mejorarse actualizando los factores de absorción de la calculadora obtenidos en este estudio. Por ello, finalmente se ha decidido en el caso del Registro asturiano de Huella de Carbono, realizar una actualización de la herramienta que registre la incorporación de los factores calculados para las principales especies productivas de la región. Los valores actuales de la herramienta no se eliminan si no que aparecen adicionalmente otros nuevos que especifican la especie y la región para facilitar el trabajo de los usuarios de la aplicación recomendando el uso de estos valores actualizados para el norte de España.

Por otra parte, aunque este trabajo ofrece una aproximación más realista sobre la productividad de las plantaciones forestales en el norte de España para aplicarlo al cálculo del carbono en proyectos de reforestación, estos cálculos presentan ciertas limitaciones a resaltar. Entre ellas está que la herramienta calcula la biomasa fijada por un árbol medio de una especie determinada en un horizonte temporal dado, computándose la biomasa total como el producto entre este valor y la densidad prevista al final del turno (número de pies objetivo). En ese sentido la herramienta no tiene en cuenta el diferente desarrollo del arbolado en función de la densidad inicial de plantación y la mortalidad natural de las especies. La densidad de una masa regular evoluciona con el tiempo incrementándose, debido al crecimiento, la altura y el diámetro de los árboles que hay en ella y en consecuencia la espesura de la masa. Si no existe gestión forestal, variable que no se incluye actualmente disponible en la herramienta, se va a producir una mortalidad natural que reduce dicha espesura (OLIVIER & LARSON, 1990). Por otra parte, el grado de espesura que se corresponde con la máxima eficacia de la masa forestal, la espesura normal (SERRADA, 2011), es lo que considera la herramienta de cálculo en todo momento, aunque esta sea en realidad defectiva o excesiva, por lo que no se considera el efecto de la competencia dentro de la masa. Estos puntos deberían ser reflejados para hacer aproximaciones más realistas.

Además, no se contempla la realización de estrategias de gestión forestal sostenible como por ejemplo tratamientos forestales: claras, clareos... ni tampoco otros aspectos como la biomasa fijada en raíces o en otros reservorios de carbono (carbono orgánico en suelo, hojarasca y madera muerta) o productos madereros.

Estas barreras deben considerarse en un futuro a medio plazo para mejorar las predicciones de la herramienta tanto a nivel estatal como a nivel regional en el caso del registro autonómico asturiano. Por ello, estas limitaciones están en la actualidad abordándose mediante el desarrollo de una herramienta más precisa y actualizada para proyectos de reforestación en el marco del Proyecto de Mejora de la contribución del sector forestal a la lucha contra el cambio climático (eco2for) de Fundación Biodiversidad. Adicionalmente a los proyectos de reforestación, este proyecto incluirá también el desarrollo de nuevas metodologías de Gestión



Forestal Mejorada con herramientas de cálculo asociadas a dichas actividades que permitirán abordar el tema del carbono en un marco estatal.

6. Conclusiones

Los resultados de este estudio han mostrado que la estimación de las absorciones de carbono en ciertas especies forestales del norte de España es superior a la disponible actualmente en la calculadora de CO₂ del Registro de Huella de Carbono estatal. Esto hace que los proyectos de absorción de estas regiones estén penalizados al usar las herramientas disponibles. Por ello, se ha llevado a cabo una actualización de la herramienta para incorporar estos valores en el Registro asturiano y que así los proyectos de forestación inscritos cuenten con estimaciones más precisas y robustas.

7. Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del contrato “Evaluación del potencial del sector forestal para la mitigación del cambio climático en Asturias” financiado por la Consejería de Transición Ecológica, Industria y Desarrollo Económico del Gobierno del Principado de Asturias.

8. Bibliografía

- ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J. G.; CASTEDO DORADO, F.; RUIZ GONZÁLEZ, A. D.; LÓPEZ SÁNCHEZ, C. A.; VON GADOW, K.; 2004. A two-step mortality model for even-aged stands of *Pinus radiata* D. Don in Galicia (Northwestern Spain). *Ann For Sci* 61(5) 439-448
- ARIAS-RODIL, M.; BARRIO-ANTA, M.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; 2016a. Developing a dynamic growth model for maritime pine in Asturias (NW Spain): Comparison with nearby regions. *Ann For Sci* 73(2) 297-320
- ARIAS-RODIL, M.; CASTEDO-DORADO, F.; CÁMARA-OBREGÓN, A.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; 2016b. Correction: Fitting and Calibrating a Multilevel Mixed-Effects Stem Taper Model for Maritime Pine in NW Spain. *PLOS ONE* 11(3): e0151297
- BARRIO-ANTA, M.; 2003. Crecimiento y producción de masas naturales de *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo
- BARRIO-ANTA, M.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; 2005. Site quality of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in Galicia (northwest Spain). *Eur J For Res* 124 19-28
- CANGA, E.; 2008. Crecimiento y producción de pinares regulares de *Pinus radiata* D. Don en Asturias. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. Mieres
- COMISIÓN EUROPEA. 2021. Dirección General de Comunicación, *Pacto Verde Europeo: consecución de nuestros objetivos*, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2775/948427>
- COMISIÓN EUROPEA. 2021. Nueva Estrategia de la UE en favor de los Bosques para 2030. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0572>
- DECRETO 40/2021, de 29 de julio, por el que se regula la organización y funcionamiento del registro de huella de carbono para la reducción, absorción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero del Principado de Asturias.
- DGCN; 2007. Tercer Inventario Forestal Nacional. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid



DGCN; 2012. Cuarto Inventario Forestal Nacional. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; CASTEDO-DORADO, F.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G., ROJO, A.; 2006a. Dynamic growth model for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations in northwestern Spain. *Can J For Res* 36 1190-1205

DIÉGUEZ-ARANDA, U.; GRANDAS-ARIAS, J.A.; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, J.G.; GADOW, K.V.; 2006b. Site quality curves for birch stands in north-western Spain. *Sil Fen* 40(4) 631-644

GARCÍA-VILLABRILLE, J. D.; 2015. Modelización del Crecimiento y la Producción de Plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill. en el noroeste de España. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo

LÓPEZ-SÁNCHEZ, C.A.; 2009. Estado selvícola y modelos de crecimiento y gestión de plantaciones de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en España. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Lugo

MADRIGAL, A.; ALVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RODRÍGUEZ-SOALLERIRO, R.; ROJO, A.; 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid

MAPA; 1980. Las coníferas en el primer inventario forestal nacional. Ministerio de Agricultura. Madrid

MENÉNDEZ-MIGUÉLEZ, M.; ÁLVAREZ-ÁLVAREZ, P.; MAJADA, J.; CANGA, E.; 2016. Management tools for *Castanea sativa* coppice stands in northwestern Spain. *Bosque* 37(1) 119-133

MINISTERIO DE AGRICULTURA; 1979. Las coníferas en el Primer Inventario Forestal Nacional. Servicio de Publicaciones agrarias. Madrid

MINISTERIO DE AGRICULTURA; 1979. Las frondosas en el Primer Inventario Forestal Nacional. Servicio de Publicaciones agrarias. Madrid

MITECO, 2008. Tercer Inventario Forestal Nacional (1997-2007). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid

MITECO; 2019. Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 13p. Madrid

MITECO; 2021a. Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero España. Edición 2021 del Inventario Nacional (serie 1990-2019). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 963p. Madrid.

MITECO; 2021b. Instrucciones de uso de la calculadora de absorciones de CO₂ ex ante de las especies forestales arbóreas españolas del ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 8p. Madrid.

MITECO; 2024. Guía para la estimación de absorciones de dióxido de carbono. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 29p. Madrid

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO₂ por los bosques españoles. Monografía 13 INIA. INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 270p. Madrid

OLIVIER, CH.D.; LARSON, B.C.; 1990. Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill, Inc. New York



PRADA, M.; GONZÁLEZ-GARCÍA, M.; MAJADA, J.; MARTÍNEZ-ALONSO, C.; 2019. Development of a dynamic growth model for sweet chestnut coppice: A case study in Northwest Spain. *Ecol Model* 409 108761

PROCTON, A.; CALDERON, C., WEATHERERET L., 2024. Estado del mercado voluntario de carbono 2024. Ecosystem Marketplace, Washington.

ROJO, A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; GRANDAS-ARIAS, J.A.; DIÉGUEZ-ARANDA, U.; 2005. Tablas de producción de selvicultura media para el abedul (*Betula alba* L.) en Galicia. IV Congreso Forestal Nacional. Zaragoza, 26-30 septiembre 2005. Zaragoza.

SERRADA, R.; 2011. Apuntes de Selvicultura. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. Fundación Conde del Valle de Salazar

TOLOSANA, E.; LÓPEZ, T.; MARTÍNEZ-MILLÁN, F.; 2004. Estudio de calidad, producción y cubicación de *Eucalyptus globulus* en Asturias y Galicia. NORFOR - UPM 2003-2005. Análisis de la producción y tablas de cubicación para brinzal de *Eucalyptus globulus* en el Principado de Asturias y la Mariña Lucense. 165p. Madrid