



2025 | 16-20
GIJÓN | JUNIO
9º CONGRESO **FORESTAL** ESPAÑOL

9CFE-1547

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

Organiza





Cartografiado de la disponibilidad de los recursos forestales para el aprovechamiento maderero según condicionantes técnicos y legales

RODRÍGUEZ-DORNA, A. (1,2), ALONSO, L. (1,2), PICOS, J. (1) y ARMESTO, J. (1, 2)

(1) Universidade de Vigo, Escola de Enxeñaría Forestal.

(2) CINTECX, Universidade de Vigo, Grupo Xestión Segura e Sostible de Recursos Minerais.

Resumen

Para diseñar políticas y estrategias de gestión forestal sostenible es necesario cuantificar los recursos disponibles para incorporar a la cadena de valor forestal y también conocer su distribución geográfica. Los inventarios forestales nacionales tradicionales basan la obtención de este tipo de información en mapas de distribución del recurso y estimaciones de existencias. Sin embargo, para poder evaluar la cantidad de recurso que puede incorporarse a la cadena de valor forestal es necesario dar un paso más y considerar también las restricciones al aprovechamiento forestal.

Este trabajo describe una metodología para clasificar los recursos forestales en función de su disponibilidad para el aprovechamiento de madera. Este desarrollo se enmarca en el Inventario Forestal Continuo de Galicia. Se han considerado limitaciones legales y técnicas para la explotación forestal en Galicia. Nueve variables fueron seleccionadas e integradas mediante criterios de decisión para obtener un mapa de disponibilidad general de resolución espacial de 10m. Este mapa combinado con el mapa de coberturas forestales de Galicia permite conocer la clase de disponibilidad de cada cobertura (favorable, intermedia y desfavorable). Para 2022, se obtuvo que el 42% de los *Eucalyptus* spp., el 48% de las Coníferas y el 30% de las Frondosas presentaban una disponibilidad favorable.

Palabras clave

Gestión forestal sostenible, restricciones, sistemas de información geográfica, planificación forestal, datos abiertos.

1. Introducción

El manejo sostenible de los recursos naturales es fundamental en un contexto donde crece la población mundial, la presión hacia el medio ambiente y donde se acentúa la pérdida de biodiversidad (COMISIÓN EUROPEA, 2018). Las previsiones indican que la demanda de recursos naturales como la madera tenderá a incrementarse en los próximos años (FAO, 2022; LERINK et al., 2023). Además, la madera va a jugar un papel clave para la transición de la Unión Europea (UE) hacia una economía neutra en carbono y sostenible (COMISIÓN EUROPEA, 2021). En la Nueva Estrategia Forestal Europea se insta a que se garantice la disponibilidad de madera pero también que esta debe ir de la mano con la protección y restauración de la biodiversidad forestal (COMISIÓN EUROPEA, 2021). Para lograr estos objetivos será necesario hacer un uso más eficiente de los recursos forestales y para verificar su cumplimiento desarrollar mejores sistemas de monitorización del estado de los bosques. Es por tanto indispensable disponer de información actualizada de los recursos y transmitirla convenientemente a los gestores forestales para mejorar la competitividad y la sostenibilidad de la cadena de valor forestal.

En la actualidad, la única fuente de información oficial en España en materia de



recurso forestal disponible es el Inventario Forestal Nacional Español (IFN). Cada año, en el Anuario de Estadística Forestal (MITECO, 2022) se ofrecen las estimaciones de existencias de madera que se desglosan por comunidad autónoma. También se transpone la información del IFN a nivel europeo en el State of the Europe's Forest (FOREST EUROPE, 2020) donde se da cuenta entre otras de la superficie forestal disponible para el suministro de madera (más conocido por sus siglas en inglés, FAWS) de cada país. En ambos casos, la información de España proviene de la misma fuente y esta se actualiza conforme a la repetición del IFN que puede extenderse durante diez o más años (MITECO, 2024a) para cada una de las comunidades autónomas. Estas estimaciones son muy útiles para estudiar tendencias y cambios a largo plazo y a gran escala, dada la longevidad y rigurosidad metodológica del IFN. Sin embargo, esta información no puede emplearse convenientemente a escala operativa de gestión forestal debido a su extenso periodo de actualización y por la imposibilidad de desglosar los datos a nivel inferior a la provincia (Xunta de Galicia, 2020a).

Para evaluar convenientemente la disponibilidad de recurso se deben contemplar los condicionantes locales y regionales de tipo ambiental, social y económicos que afectan al suministro de madera a la industria (FISCHER et al., 2016; ALBERDI et al., 2016). Algunos ejemplos de estos condicionantes son las diferentes restricciones de tipo legal que limitan total o parcialmente los aprovechamientos forestales en el área donde se encuentra el recurso (VAUHKONEN et al., 2019), así como los diversos factores que influyen en la rentabilidad del aprovechamiento como son la eficiencia y los costes de extracción del recurso (ALBERDI et al., 2016). Es fundamental, por tanto que la ubicación del recurso así como los condicionantes que afectan a su disponibilidad sean espacialmente explícitos para poder combinarlos entre sí. Por otra parte, para poder ir haciendo el seguimiento del estado de los recursos es necesario ir actualizando regularmente el recurso que deja de estar disponible por cortas e incendios forestales así como el nuevo que aparece debido a la regeneración natural o la repoblación.

Los avances en la capacidad de cálculo de los procesadores informáticos y la disponibilidad de datos de teledetección permiten monitorizar los recursos forestales de forma automática, rigurosa y a menor escala (WULDER et al., 2018). Esto está generando multitud de metodologías para desarrollar productos cartográficos que complementan o incluso aumentan el conocimiento sobre la distribución de los recursos forestales. Un ejemplo de este tipo de productos es el Mapa ráster de coberturas forestales que desarrolla el Inventario Forestal Continuo de Galicia (IFCG) a partir de imágenes de satélite Sentinel-2 (S2) (XUNTA DE GALICIA, 2022). Este mapa integra la clasificación de las principales coberturas del suelo con la detección de cambios producidos sobre el arbolado debidos a cortas e incendios. Tiene una resolución de píxel de 10m, lo que le permite ser espacialmente más explícito en la ubicación del recurso que el Mapa Forestal Español (MFE), cuya unidad mínima cartografiable en suelo forestal es de 1 Ha (MITECO, 2024b). Este mapa se produce anualmente, aunque la información podría ser actualizada conforme se procesan nuevas imágenes S2. Al ser un producto espacialmente explícito es posible combinarlo con otras fuentes de información geoespacial para caracterizar el recurso forestal en base a su disponibilidad legal y técnica al aprovechamiento forestal.

En este artículo se recompilan los principales condicionantes de tipo técnico y legal que afectan a la disponibilidad del recurso para el aprovechamiento forestal en Galicia. Con el fin de evaluar la disponibilidad de recurso en la región española



que más volumen de madera produce anualmente (MITECO, 2022). Para ello, se diseña un flujo de trabajo que integra estos condicionantes en un único mapa de disponibilidad del territorio al aprovechamiento forestal. Finalmente, por medio del mapa de coberturas del IFCG se obtiene la caracterización del recurso en tres clases de disponibilidad de aprovechamiento: favorable, intermedia y desfavorable.

2. Objetivos

- Diseñar un flujo de trabajo que permita relacionar los condicionantes al aprovechamiento forestal entre sí y caracterizar el territorio en función de la disponibilidad del aprovechamiento forestal.
- Analizar cuantitativamente y geoespacialmente la disponibilidad de recurso forestal a nivel regional y local atendiendo a los condicionantes legales y técnicos.

3. Metodología

3.1 Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la comunidad autónoma de Galicia. El territorio gallego se caracteriza por presentar planicies y depresiones que se escalonan a distintas altitudes (PÉREZ-ALBERTI, 2019). Las altitudes varían desde la cota máxima de 2.124m de Pena Trevinca (IGN, 2024) hasta el nivel del mar. Las sierras en Galicia se pueden agrupar en cuatro grandes conjuntos: las sierras orientales y surorientales que son las que presentan las cotas más altas, las sierras centro-occidentales que tienen disposición norte-sur, las sierras septentrionales y las sierras litorales (PÉREZ-ALBERTI, 2019). Las sierras junto a las abundantes precipitaciones causadas por las tormentas atlánticas (Lorenzo et al., 2009) han conformado una vasta red hidrográfica. A medida que los valles se abren, dan paso a planicies que predominan principalmente el área del litoral y en zonas del interior de la comunidad autónoma, como en la provincia de Lugo (PÉREZ-ALBERTI, 2019).

La densidad de población en Galicia presenta dos patrones claramente diferenciados. En las zonas próximas al litoral, la densidad de población es elevada, especialmente en el denominado eje atlántico (por donde discurre la autopista AP-9). Algunos ayuntamientos del litoral presentan densidades de más de 213 hab/km². En cambio, en el interior muchos ayuntamientos tienen menos de 10 hab/km² (IGE, 2023). La fragmentación de los asentamientos de población es característica del territorio gallego: se ubican en Galicia el 77% de las entidades colectivas que hay España y el 48,9% de las singulares (XUNTA DE GALICIA, 2023). Todas estas poblaciones se comunican mediante de una extensa red de carreteras que alcanza los 17.600 km (IGE, 2022). El territorio gallego es por tanto complejo, fragmentado y muy heterogéneo con usos del suelo muy variados (p. ej. grandes infraestructuras de transporte y de energía, áreas urbanas, cultivos, áreas forestales, entre otros), un rico patrimonio cultural y zonas naturales protegidas de un alto valor ambiental.

Aproximadamente cerca del 68% del territorio gallego se considera superficie forestal (MITECO, 2022). El sector forestal representa una parte importante de la economía gallega. En 2022 la cadena forestal-madera supuso 24.723 puestos de trabajo y el 1,7% del producto interior bruto de la región (IGE, 2024). Galicia destaca por ser la región que más volumen de madera corta anualmente en España, aportando más del 50% del total nacional (MITECO, 2022). Cerca del 98% del volumen de madera que se corta en Galicia se produce en montes de gestión privada (Xunta de Galicia, 2024). Los aprovechamientos madereros en estos



montes se rigen por una regulación autonómica específica (DOG, 2020) donde se disponen las restricciones de tipo legal que se deben considerar y que requieren de autorización por parte de la administración competente. En Galicia, existen un total de 3.072 comunidades de montes vecinales (CMV) y se estima que el número de propietarios de montes particulares asciende a más de 450.000 (XUNTA DE GALICIA, 2021). La superficie media por expediente de corta fue de 0,75 Ha en 2022 (XUNTA DE GALICIA, 2024). Esto pone de manifiesto lo heterogénea que es la propiedad forestal donde se alternan parcelas de decenas de hectáreas de las CMV con las propiedades particulares que pueden llegar a ser inferiores a la media hectárea.

Este trabajo muestra los resultados para el conjunto de la comunidad y para dos ayuntamientos representativos de las áreas de mayor actividad forestal: Santa Comba (A Coruña) y A Pontenova (Lugo). Estos ayuntamientos están entre los veinte ayuntamientos que más madera cortaron en 2022 según el informe anual de la cadena forestal-madera de Galicia (XERA, 2023). Santa Comba cuenta con una superficie total de 20.358 Ha y en 2022 tuvo un volumen de cortas privadas de 118.853 m3. A Pontenova cuenta con una superficie de 13.577 Ha y sus cortas de madera ascendieron a 137.884 m3. En la Figura 1 se muestra la ubicación de ambos ayuntamientos y sus coberturas predominantes según el mapa ráster de coberturas de 2022 del IFCG.

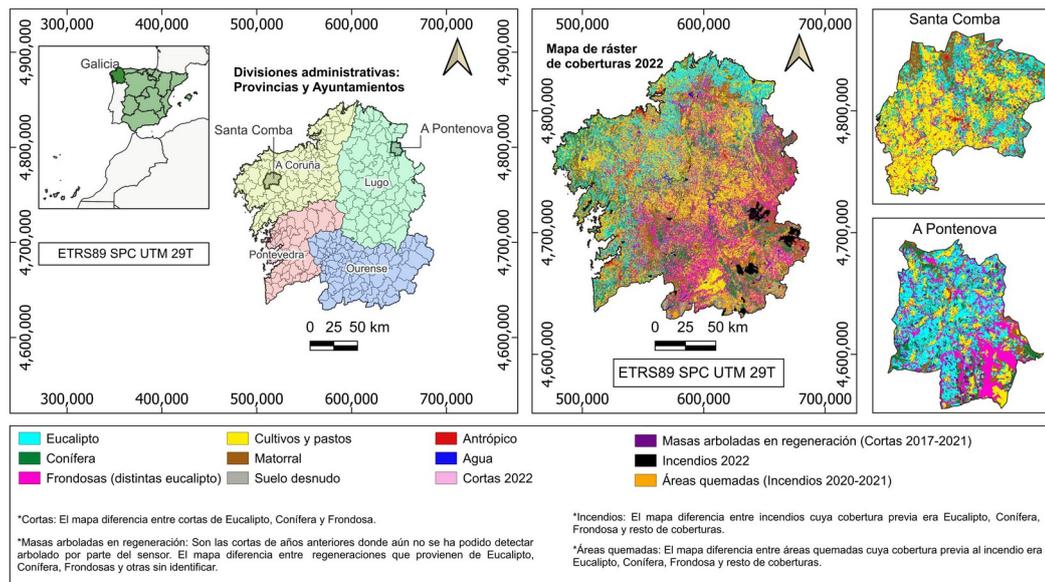


Figura 1. Mapa de divisiones administrativas (izquierda) y mapa de coberturas para Galicia y los ayuntamientos de Santa Comba y A Pontenova (derecha).

3.2 Materiales

Se compilaron diversas fuentes cartográficas para el área de estudio producidas por organismos oficiales. En la Tabla 1 se describen las fuentes empleadas para la obtención de las restricciones técnicas y legales así como el mapa con la distribución del recurso forestal para el área de estudio. La mayor parte de las fuentes son de acceso abierto tanto para la descarga como para la visualización de los datos, salvo GDB20 que está disponible únicamente para visualización.

Tabla 1. Descripción fuentes cartográficas

Nombre	Descripción	Formato	Acceso	Fuente
--------	-------------	---------	--------	--------

BTG20	Base topográfica de 2020 para Galicia a escala 1:10000. Elaborada por el Instituto de Estudios do Territorio (Xunta de Galicia). Incluye información cartográfica relativa a redes de comunicación, infraestructuras, cauces fluviales, entre otras.	Vectorial	Abierto	(XUNTA DE GALICIA, 2020b)
GDB20	Geodatabase de aprovechamientos forestales 2020 para Galicia. Elaborada por la Consellería de Medio Rural (Xunta de Galicia). Incluye las distintas áreas con afecciones legales que condicionan el aprovechamiento forestal.	Vectorial	Solo visualización	(XUNTA DE GALICIA, 2020c)
ZEPVN	Áreas catalogadas como Zonas de especial protección de los valores naturales. Cartografía elaborada por la Dirección Xeral de conservación de da natureza (Xunta de Galicia)	Vectorial	Abierto	(XUNTA DE GALICIA, 2020d)
Mapa Pendientes	Mapa de pendientes en grados de 5m de resolución de pixel. Elaborado por el Centro Nacional de Información Geográfica	Ráster	Abierto	(IGN, 2020)
Catastro	Parcelas catastrales rústicas de. Publicado por la Dirección General del Catastro.	Vectorial	Abierto	(DGC, 2020)
Mapa de coberturas	Mapa de coberturas de Galicia 2022 elaborado a partir de imágenes satelitales Sentinel-2. Producido por el Inventario Forestal Continuo de Galicia (Xunta de Galicia, Universidad de Vigo, Universidad de Santiago de Compostela)	Ráster	Abierto	(XUNTA DE GALICIA, 2022)
Limites municipales, provinciales y autonómicos	Recintos con los límites municipales, provinciales y autonómicos del Centro Nacional de Descargas (CNIG).	Vectorial	Abierto	(IGN, 2024)

3.3 Identificación, armonización y categorización de las restricciones

De acuerdo con Alberdi et al. (2016) y Fischer et al. (2016) las variables de tipo ambiental y social para la evaluación del recurso disponible habitualmente se corresponden con regulaciones de tipo legal. Para Galicia, las restricciones de tipo legal a los aprovechamientos forestales vienen definidas en el Decreto 73/2020, del 24 de abril, que regula los aprovechamientos forestales (DOG, 2020). También aplican las medidas para la prevención de incendios vienen definidas en la Ley



3/2007, de 9 de abril, de prevención y defensa contra los incendios forestales de Galicia. Las principales restricciones que aplican al aprovechamiento forestal son las siguientes:

- Restricción al patrimonio cultural. Se incluyen los bienes recogidos en el inventario de patrimonio cultural de Galicia y el ámbito del Camino de Santiago.
- Restricción de zonas de ribera de los cauces fluviales.
- Restricción de servidumbre de protección del dominio público marítimo-terrestre
- Restricción de patrimonio natural donde se incluyen las áreas Red Natura 2000, Red gallega de espacios protegidos y áreas o lugares de especial interés paisajístico; restricción por proximidad a carreteras
- Faja de protección a 50m de las edificaciones.

De acuerdo con Alberdi et al. (2016) y Fischer et al. (2016), las restricciones de tipo económico son aquellas que afectan a la rentabilidad de aprovechar la madera, excluyendo el precio de mercado de esta por ser fluctuante. Estos autores indican que se pueden considerar variables de accesibilidad a la parcela (como la distancia a carreteras), la pendiente y la condición del suelo. Otros autores como Poje et al. (2016) y Verkerk et al. (2015) señalan el tamaño de la parcela como factor influyente en la intensidad de las cortas de madera. La condición del suelo no se ha podido incluir en este estudio por no encontrarse cartografía disponible.

En la Tabla 2, se muestra la fuente de información de la que se han obtenido las restricciones legales y técnicas.

Tabla 2. Fuentes cartográficas consultadas

Tipo de restricción	Restricción	Fuente
Legal	Patrimonio cultural	GDB20
	Cauces fluviales	GDB20
	Patrimonio natural (áreas naturales protegidas)	GDB20 y ZEPVN
	Costas (Dominio público marítimo-terrestre)	GDB20
	Proximidad a edificaciones	BTG20
	Carreteras	GDB20 y BTG20
Técnica	Pendiente	Mapas pendientes
	Distancia a vías	BTG20
	Tamaño de parcela	Catastro

Una vez identificadas las restricciones legales y técnicas se procedió a armonizar su formato y a categorizarlas. De forma general, todas las variables se convirtieron a formato ráster, con el mismo tamaño de píxel de 10m y la misma extensión que el área de estudio empleando el software QGIS v3.22.7 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2023) y el módulo de SAGA v7.8.2 (CONRAD et al., 2015). De forma particular para obtener la proximidad a edificaciones se hizo un buffer de 50m a cada contorno de edificación y para calcular la distancia a vías se empleó el algoritmo de distancia euclidiana del software ArcGIS v10.4.1 (ESRI, 2023). Los ráster de restricciones de tipo legal únicamente indicaban si había o no restricción mientras que los ráster de restricciones técnicas fueron categorizados en función de valores



umbrales. Los valores umbrales se establecieron bajo un criterio técnico de productividad y operatividad de la maquinaria forestal consultados en la bibliografía (ALBERDI et al., 2016; ZIMBALATTI et al., 2010). Los umbrales representan la disponibilidad de la variable para el aprovechamiento forestal. Por ejemplo, la pendiente tiene cuatro clases de disponibilidad favorable (0%, 15%), intermedia (15%,30%), desfavorable (30%, 45%) y muy desfavorable ($\geq 45\%$). En la Figura 2 se pueden observar los diferentes mapas ráster de cada una de las restricciones para los dos ayuntamientos de ejemplo así como los umbrales que se establecieron para categorizar las variables técnicas.



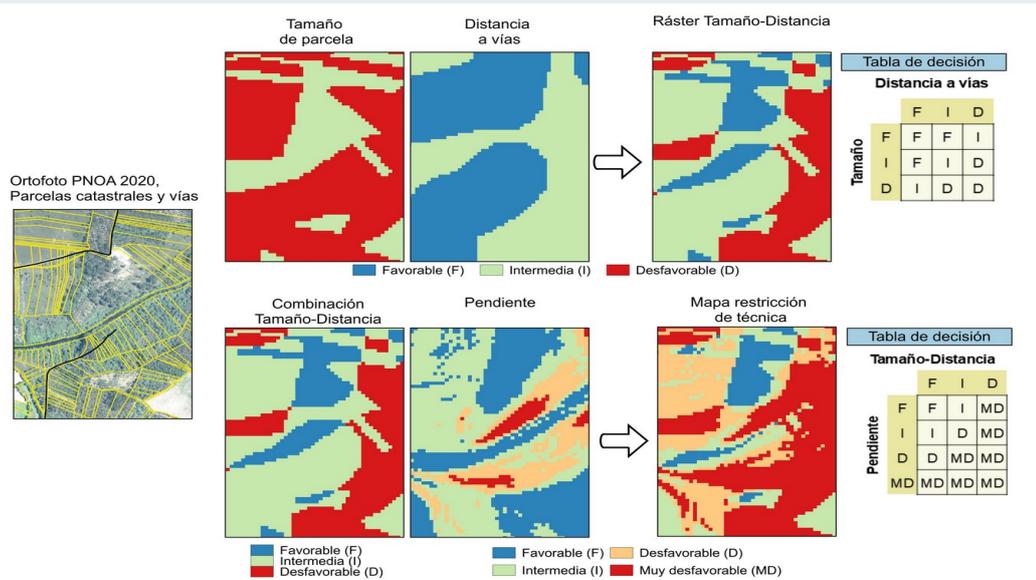


Figura 3. Ejemplo de agregación de las restricciones técnicas por medio de tablas de decisión.

Obtenido el ráster de restricción técnica, el siguiente paso es integrarlo con las restricciones legales. El mapa de restricción legal es el recuento del número de restricciones legales que se dan simultáneamente en cada zona del territorio. Nuevamente, se emplea una tabla de decisión que permite ir decidiendo la clase de disponibilidad que resulta de la combinación de las clases técnicas y el número de restricciones. En la Figura 4 se muestra el proceso de integración de la restricción técnica y legal. Como resultado se obtiene el mapa de restricción técnica-legal al aprovechamiento forestal.

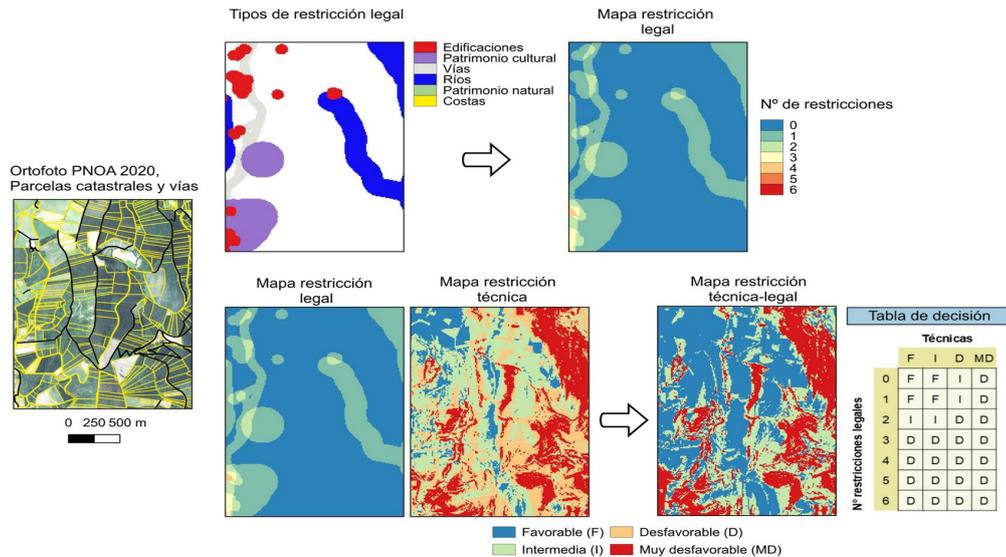


Figura 4. Ejemplo de agregación de las restricciones técnicas-legales por medio de una tabla de decisión.

3.5 Análisis de la disponibilidad del recurso actual y del recurso extraído

La disponibilidad de recurso se evalúa a partir del cruce entre el mapa de restricciones técnicas-legales y el mapa con la distribución de recurso. La distribución del recurso actual se obtuvo del mapa ráster de coberturas del IFCG de 2022, concretamente de las clases Eucalipto, Conífera y otras Frondosas. La distribución del recurso extraído se corresponde con las clases del mapa Cortas del año de Eucalipto, Conífera y otras Frondosas. El mapa del IFCG tiene un tamaño de píxel de 10m que es la misma resolución que se ha empleado durante la armonización de las restricciones.

La evaluación de la disponibilidad se hace de forma espacial, obteniendo mapas con clases de disponibilidad para cada tipo de recurso, y estadísticamente haciendo recuentos de píxeles de estos mismos mapas. Para elaborar recuentos estadísticos a diferentes escalas (municipal, provincial y autonómica) se han empleado los recintos administrativos del CNIG como máscara. Para la evaluación de la disponibilidad se han utilizado diversas funciones de las librerías terra v1.7.39 (HIJMANS, 2024), sf v1.2.10 (PEBESMA & BIVAND), dplyr v1.1.1 (WICKHAM et al., 2014), openxlsx v4.2.5.2(SCHAUBERGER & WALKER) y exactextractr v0.9.1 (BASTON, 2024) en lenguaje de programación R v4.2.3 (R CORE TEAM, 2013). La visualización de los mapas se ha realizado en software QGIS.

4. Resultados

4.1 Caracterización del territorio

El proceso se ha realizado para toda Galicia. A nivel autonómico se ha obtenido que un 45% de los píxeles de 10m no tiene ninguna restricción legal, el 39% tiene una restricción y el 16% tiene dos o más restricciones. En cuanto a las clases de restricción técnica se distribuyen en un 19% en favorable, 36% en intermedia, 19% en desfavorable y 26% en muy desfavorable. La combinación de restricciones técnicas-legales dio como resultado que el 46% pertenece a la clase favorable. Estos mismos datos se pueden reportar a escala inferior a la regional (p. ej. provincial, distrito forestal, comarcal, municipal y local).

En la Figura 5, se muestran los mapas obtenidos para los dos ayuntamientos de



ejemplo. Se puede observar que en A Pontenova el Mapa de restricción técnica es muy desfavorable en gran parte del territorio, y esto se traslada al Mapa de restricción técnica-legal. La principal restricción técnica en este ayuntamiento (ver Figura 2) es la pendiente y en menor medida el tamaño de parcela. Santa Comba por el contrario presenta en gran parte de su territorio clase de restricción técnica-legal favorable al aprovechamiento forestal. El tamaño de parcela es la restricción técnica más desfavorable en Santa Comba (ver Figura 2), sin embargo como el resto de las restricciones técnicas (distancia y pendiente) son favorables al aprovechamiento, esta no penaliza en el mapa de restricción técnica.

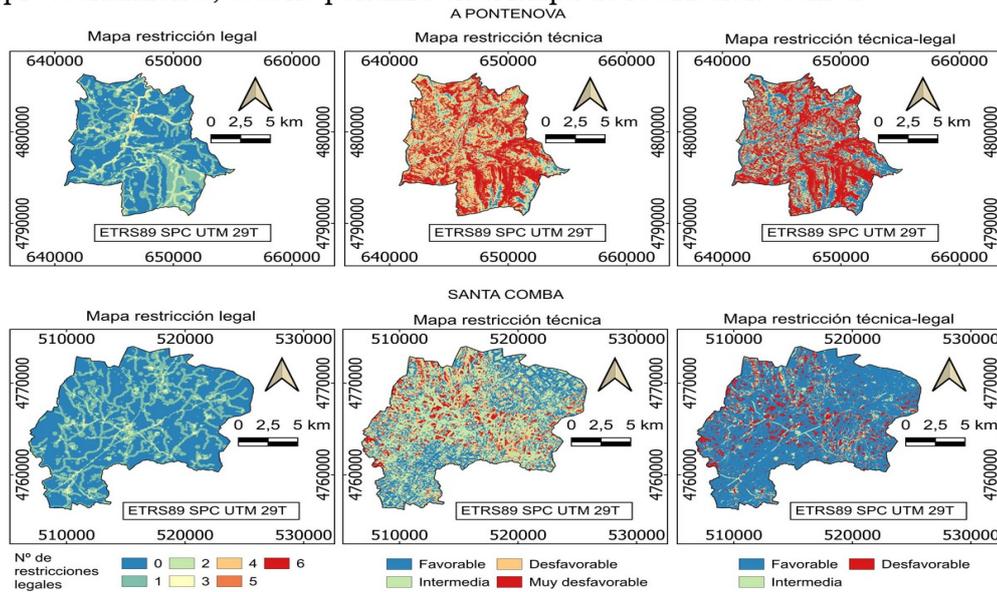


Figura 5. Mapas de restricciones legal, técnica y técnica-legal para los ayuntamientos de A Pontenova (arriba) y Santa Comba (abajo).

4.2 Disponibilidad del recurso actual y del recurso extraído

A nivel autonómico se obtuvo que un 38% del recurso actual (considerando las tres clases arboladas) del mapa ráster del IFCG se encuentra en clase de disponibilidad favorable y un 39% en clase desfavorable. En la Tabla 3 se desglosan los datos a nivel autonómico por clases de arbolado. Destaca que Eucalipto, Conífera y Frondosa tienen una proporción en clase favorable de 42%, 48% y 30% respectivamente. También que un 32% del Eucalipto y un 49% de la Frondosa se encuentra en clase desfavorable.

Tabla 3. Porcentaje de distribución de las clases de disponibilidad para cada clase arbolada

Disponibilidad técnica-legal	Eucalipto	Conífera	Frondosa	Recurso en General
Favorable	42%	48%	30%	38%
Intermedia	25%	24%	21%	23%
Desfavorable	32%	28%	49%	39%
Total	100%	100%	100%	100%

En la Figura 6 se compara el recurso actual (Eucalipto, Conífera y Frondosa) frente al recurso extraído (Cortas de Eucalipto, Conífera y Frondosa). El gráfico muestra la proporción que tiene el recurso en cada una de las clases de restricción legal, técnica y técnica-legal. Los datos se muestran a nivel provincial pero se podría



hacer un análisis similar a escalas menores (p. ej. distritos forestales o ayuntamientos). Se puede observar que la proporción que tiene el recurso y las cortas en cada clase de disponibilidad es por lo general diferente. La proporción de clase favorable de restricción técnica y restricciones técnicas-legales es siempre mayor en las cortas que en el recurso, para todas las provincias y clases de arbolado. Las proporciones de Eucalipto, Conífera y Cortas de estas son similares en las clases de restricción legal, a excepción de la provincia de Lugo, donde la proporción de las cortas en la clase “sin restricción legal” es ligeramente mayor que la del recurso. Más diferencias se aprecian entre las clases Frondosa y Cortas de frondosa para la clase “sin restricción legal” de las provincias de A Coruña y Lugo donde la proporción de cortas supera en más de un 15% la proporción que tiene el recurso en esa misma clase.

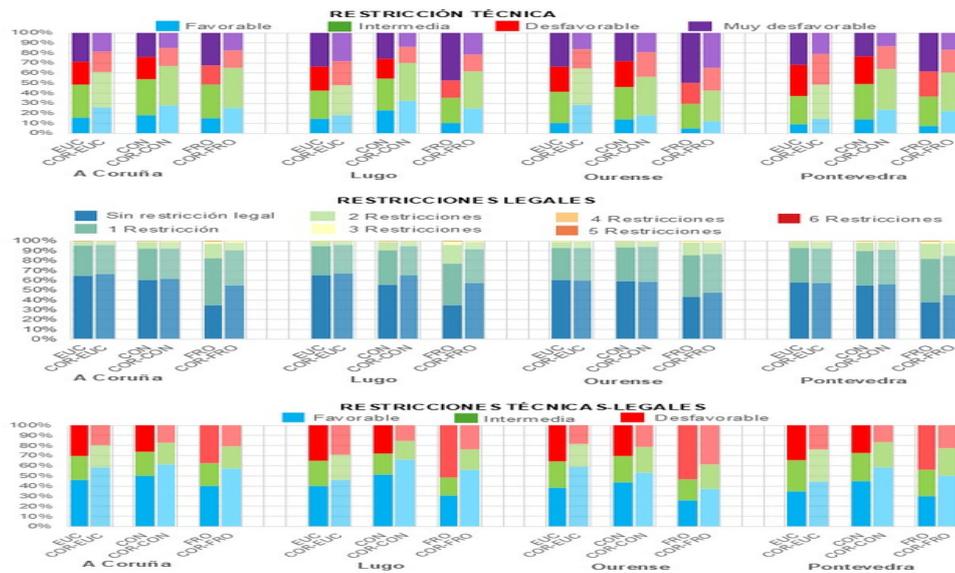


Figura 6. Distribución de clases de disponibilidad técnica, legal y técnica-legal de recurso forestal por provincia. Se comparan las clases de recurso arbolado presentes en 2022 con las clases de cortas realizadas en 2022.

En la Figura 7 se muestran los mapas de los ayuntamientos de A Pontenova y Santa Comba con la disponibilidad técnica-legal de cada clase de arbolado. También acompañan a los mapas de cada ayuntamiento el gráfico de barras agrupadas que compara la proporción entre la disponibilidad del recurso y del recurso extraído. En A Pontenova, la Figura 5 mostraba que el territorio presentaba una disponibilidad mayoritariamente desfavorable al aprovechamiento forestal debido a la orografía con pendientes pronunciadas. Esto se traslada al recurso, donde se observa que Eucalipto, Conífera y Frondosa tienen gran parte de su distribución en áreas clasificadas como desfavorables. Las zonas de Conífera en clase favorable se corresponden predominantemente con áreas de escasa pendiente y resto de restricciones técnicas favorables o intermedias; además en esas áreas no hay restricciones legales. También se observa que las cortas penalizan las áreas desfavorables.

Para Santa Comba se observa que el recurso se encuentra mayormente en clase de disponibilidad favorable. Si se observan los detalles de Eucalipto y Frondosa para Santa Comba de la Figura 7 se aprecia que las áreas desfavorables se corresponden con áreas de alta fragmentación de la propiedad.

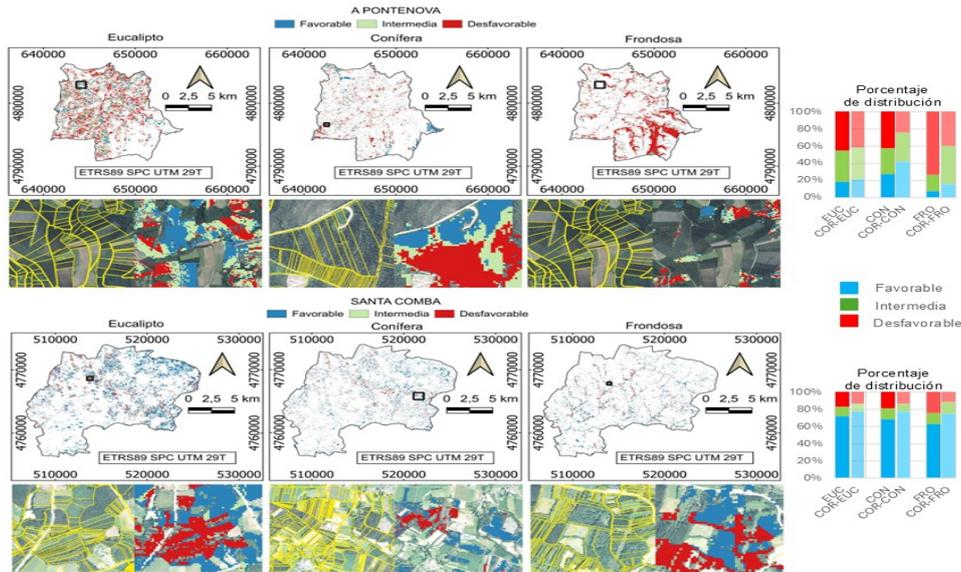


Figura 7. Mapas de disponibilidad técnica-legal de recurso (Eucalipto, Conifera y Frondosa) para los ayuntamientos de A Pontenova (arriba) y Santa Comba (abajo).

5. Discusión

En el presente estudio se muestra un flujo de trabajo que permite combinar diferentes restricciones legales y técnicas al aprovechamiento forestal para posteriormente evaluar la disponibilidad de recurso. El flujo de trabajo permite integrar información que está disponible de forma oficial a la vez que se aprovecha el potencial de los productos derivados de la teledetección para hacer un seguimiento continuo de la disponibilidad de recurso.

Los mapas obtenidos con la caracterización del territorio son en sí mismo un resultado que puede ser de utilidad a propietarios y administraciones para la planificación forestal del territorio. Este flujo de trabajo se puede adaptar y reajustar a las condiciones particulares de cada región. Sin embargo, al asumir que todas las restricciones legales tienen el mismo peso, establecer unos determinados umbrales para categorizar las restricciones técnicas y la forma en la que se han combinado las restricciones entre sí, ha influido notablemente en el resultado final.

La principal limitación que se ha encontrado durante este estudio es la ausencia de información y de estudios científicos que valoren de forma objetiva los factores y los pesos que estos tienen en la movilización del recurso. Recientemente, Alonso et al. (2024) hicieron una encuesta entre los rematantes de madera de Galicia para conocer sus preferencias a la hora de seleccionar la parcela en la que van a comprar madera. Y pudieron establecer los pesos que tuvieron variables como pendiente, forma, distancia a vías y fragmentación de la parcela en la toma de decisión de los rematantes. Pero todavía no se tiene información de cómo le influye al comprador de madera que haya una restricción legal de un tipo u otro o en qué casos el aprovechamiento puede ser autorizado o no en zonas con restricción legal por parte de la administración. También habría que incluir información sobre el vendedor de la madera, ya que en un territorio con un 98% de propiedad privada que se comercialice o no la madera va a depender en última instancia de la decisión de la propiedad. Sin descuidar que el volumen y la calidad de la madera influye en su comercialización.

La evaluación de la disponibilidad de recurso actual y del recurso extraído ha



permitido obtener mapas espacialmente explícitos que pueden ayudar a mejorar la competitividad del sector forestal. Al propietario le puede ayudar a identificar los aspectos que hace que la propiedad resulte o no atractiva para la compra de madera; a las empresas del sector les permite identificar antes de ir a campo áreas donde es más favorable realizar los aprovechamientos o las zonas donde el recurso ya fue talado; a la administración forestal hacer el seguimiento continuo del recurso que se corta y del que tiene difícil aprovechamiento y de esa forma adecuar la planificación y las políticas forestales. Del análisis de este estudio se extrae que hay una proporción alta de recurso en clase favorable de disponibilidad para Galicia 42%, 48% y 30% de Eucalipto, Conífera y Frondosa. Las cortas de recurso en el año muestran una tendencia general a penalizar los aprovechamientos en las áreas de recurso en clase desfavorable e intermedia. Sin embargo, en el caso de A Pontenova, esta penalización no parece darse en Eucalipto (la clase más abundante), ya que se corta más en clase desfavorable e intermedia que en favorable. Habría que analizar si la tendencia general de penalizar las áreas desfavorables es algo coyuntural del año analizado o si es algo que es sistemático y cómo esto va evolucionando en los próximos años. Si ayuntamientos como A Pontenova pueden verse afectados en el futuro por su mala disponibilidad al aprovechamiento forestal y si otros ayuntamientos como Santa Comba que tiene gran parte del recurso en clase favorable y que en el periodo 2018-2021 no estaban entre los 20 primeros de madera que más cortaban, se situarán a partir de ahora entre los que más cortan (XERA, 2023).

6. Conclusiones

A medida que la evaluación de la disponibilidad de recurso se aproxima a la escala espacial y temporal a la que se producen los cambios en el territorio, ésta permite hacer análisis estadísticos y espaciales a distintas escalas (regional y local). Esta información es valiosa y puede servir de apoyo a la toma de decisiones a escalas operativas y de planificación forestal. Además de cumplir con el requerimiento estadístico a nivel regional, también se pueden localizar las regiones más propicias para realizar el aprovechamiento forestal, estudiar tendencias de movilización de madera, planificar nuevas repoblaciones en áreas más apropiadas, evaluar los efectos a corto y medio plazo de normas y políticas forestales o hacer el seguimiento del cumplimiento de la legalidad vigente de las cortas de madera.

7. Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Convenio para la realización del Inventario Forestal Continuo de Galicia financiado por la Conselleria de Medio Rural de la Xunta de Galicia bajo el proyecto: 2020CONVINVENTARIOFORESTALR002. También ha sido financiado por el Programa de Cooperación Transfronteriza Interreg VI-A España-Portugal 2021-2027 (POCTEP), dentro del marco del proyecto FIREPOCTEP+ (0139_FIREPOCTEP_MAS_6_E), y por el programa INTERREG-SUDOE en el marco del proyecto USE4FOREST. Además, para su realización Andrés Rodríguez-Dorna contó con la financiación del contrato predoctoral 2023 (00VI 131H 679 6410211) por parte de la Universidad de Vigo y Laura Alonso contó con la financiación del Programa de ayudas a la etapa postdoctoral de la Xunta de Galicia (Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades) (ED481B_059).

8. Bibliografía

ALBERDI, I.; MICHALAK, R.; FISCHER, C.; GASPARINI, P.; BRÄNDLI, U.B.; TOMTER, S.M.; KULIESIS, A.; SNORRASON, A.; REDMOND, J.; HERNÁNDEZ, L.; et al. Towards harmonized assessment of European forest availability for wood supply in Europe. *For. Policy Econ.* 2016, 70, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.05.014>



BASTON, D.; 2024. exactextractr: Fast Extraction from Raster Datasets using Polygons. R package version 0.9.1, <https://github.com/isciences/exactextractr>, <https://isciences.gitlab.io/exactextractr/>.

COMISIÓN EUROPEA (European Commission, Directorate-General for Research and Innovation); 2018. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment: updated bioeconomy strategy. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/792130>

COMISIÓN EUROPEA; 2021. New EU Forest Strategy for 2030. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM(2021) 572 Final; European Commission: Brussels, Belgium.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J.; 2015. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geosci. Model Dev. 2015, 8, 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>

DGC (Dirección General del Catastro); 2020. Cartografía vectorial catastro. Disponible online: <http://www.catastro.minhap.gob.es/webinspire/index.html> (acceso el 17 octubre de 2024)

DOG; 2020. DECRETO 73/2020, do 24 de abril, polo que se regulan os aproveitamentos madeireiros e leñosos, de cortiza, de pastos, micolóxicos e de resinas en montes ou terreos forestais de xestión privada na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 97, 20 de maio de 2020. https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2020/20200520/AnuncioG0426-080520-0001_gl.html

ESRI; 2023. Understanding Euclidean distance analysis—ArcMap|Documentation. Disponible online: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm#> (acceso el 17 marzo de 2023).

FAO; 2022. Global forest sector outlook 2050: Assessing future demand and sources of timber for a sustainable economy – Background paper for The State of the World’s Forests 2022. FAO Forestry Working Paper, No. 31. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc2265en>

FISCHER, C.; GASPARINI, P.; NYLANDER, M.; REDMOND, J.; HERNANDEZ, L.; BRÄNDLI, U.; PASTOR, A.; RIZZO, M.; ALBERDI, I.; 2016. Joining Criteria for Harmonizing European Forest Available for Wood Supply Estimates. Case Studies from National Forest Inventories. Forests, 7, 104. <https://doi.org/10.3390/f7050104>

FOREST EUROPE; 2020. State of Europe’s Forests. Disponible online: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2016/08/SoEF_2020.pdf (acceso el 17 marzo de 2023).

HIJMANS, R.; 2024. terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.7-39, <https://rspatial.github.io/terra/>, <https://rspatial.org/>.

IGE (Instituto Galego de Estatística); 2023. Indicadores demográficos. Disponible online: https://www.ige.gal/web/mostrar_actividade_estadistica.jsp?idioma=es&codigo=0201004 (acceso el 17 octubre de 2024).

IGE (Instituto Galego de Estatística); 2022. Red de carreteras por tipo de pavimento y tipo de organismo. Disponible online: <https://www.ige.gal/igebdt/esq.jsp>



c=0101001002&idioma=es&ruta=verTabla.jsp?
COD=407&R=0%5b2022%5d;1%5b6%5d;9928%5b12%5d&C=2%5b4%5d&F=&OP=1&B=1 (acceso el 17 octubre de 2024).

IGE (Instituto Galego de Estatística); 2024. Sectores característicos da economía galega. Revisión Estatística 2024. Disponible online:
<https://www.ige.gal/igebdt/esq.jsp?paxina=001&c=0307007001&ruta=verPpalesResultados.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=9611&R=2%5ball%5d;1%5ball%5d&C=T%5b5:0%5d&F=&S=998:12> (accessed on 17 October 2024).

IGN (Instituto Geográfico Nacional); 2020. Modelo digital de Pendientes-MDP05. Disponible online:
<https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=MDP05> (acceso el 17 octubre de 2024)

IGN; 2024a. Datos geográficos y toponimia. Disponible online:
<https://www.ign.es/web/ane-datos-geograficos/-/datos-geograficos/datosGenerales?tipoBusqueda=altitudes> (acceso el 17 octubre de 2024).

IGN (Instituto Geográfico Nacional); 2024b. Límites municipales, provinciales y autonómicos. Disponible online:
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (acceso el 17 octubre de 2024)

LERINK, B.J.W.; SCHELHAAS, M.J.; SCHREIBER, R.; AURENHAMMER, P.; KIES, U.; VUILLERMOZ, M.; RUCH, P.; PUPIN, C.; KITCHING, A.; KERR, G.; et al.; 2023. How much wood can we expect from European forests in the near future?, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96, 434-447.
<https://doi.org/10.1093/forestry/cpad009>

LORENZO, M.N., IGLESIAS, I., TABOADA, J.J. AND GÓMEZ-GESTEIRA, M.; 2010. Relationship between monthly rainfall in northwest Iberian Peninsula and North Atlantic sea surface temperature. *Int. J. Climatol.*, 30: 980-990.
<https://doi.org/10.1002/joc.1959>

MITECO; 2022. Anuario de Estadística Forestal 2022. Disponible online:
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/forestal_anuarios_todos.html (acceso el 17 marzo de 2023).

MITECO; 2024a. Inventario Forestal Nacional. Galicia. Disponible online:
<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/inventario-forestal-nacional.html> (acceso el 17 octubre 2024).

MITECO; 2024b. Metodología del MFE25. Disponible online:
https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/mapa-forestal-espana/metodologia_mfe_25.html (acceso el 17 octubre 2024).

PEBESMA, E.; BIVAND, R.; 2023. *Spatial Data Science: With Applications in R*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429459016>

PÉREZ-ALBERTI, A.; 2019. De lo natural a lo antrópico en los ríos de Galicia (Noroeste de la Península Ibérica). En A. RAMOS-PEREIRA (Coord.), M. LEAL, R. BERGONSE, J. TRINDADE, & E. REIS (Eds.), *Água e território: Um tributo a Catarina Ramos* (pp. 3-24). Centro de Estudos Geográficos, IGOT, Universidade de Lisboa.
<https://doi.org/10.33787/CEG20190005>

QGIS DEVELOPMENT TEAM; 2023. QGIS geographic information system (Version



3.22.7 Białowieża). QGIS Association. Disponible online: <https://www.qgis.org> (acceso el 17 marzo 2023).

R CORE TEAM; 2013. R: A language and environment for statistical computing. Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

SCHAUBERGER, P.; WALKER, A.; 2024. openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files. R package version 4.2.7, <https://github.com/ycphs/openxlsx>, <https://ycphs.github.io/openxlsx/index.html>.

VAUHKONEN, J.; BERGER, A.; GSCHWANTNER, T.; SCHADAUER, K.; LEJEUNE, P.; PERIN, J.; PITCHUGIN, M.; ADOLT, R.; ZEMAN, M.; JOHANNSEN, V.K.; ET AL.; 2019. Harmonised projections of future forest resources in Europe. *Ann. For. Sci.* 2019, 76, 79. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0863-6>

WICKHAM, H.; FRANÇOIS, R.; HENRY, L.; MÜLLER, K.; VAUGHAN, D.; 2014. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. <https://doi.org/10.32614/cran.package.dplyr>

WULDER, M. A.; COOPS, N. C.; ROY, D. P.; WHITE, J. C.; HERMOSILLA, T.; 2018. Land cover 2.0. *International Journal of Remote Sensing*, 39(12), 4254–4284. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1452075>

XERA; 2023. Informe anual de la cadena forestal-madera de Galicia. Disponible online: https://xera.xunta.gal/sites/default/files/Cadena%20Forestal%20Madera%202022_2023.pdf (acceso el 17 octubre de 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2020a. Presentación de solución técnica y cumplimiento de requisitos planteados por el sector. Disponible online: Microsoft PowerPoint - Solución propuesta y grado de cumplimiento.pptx (acceso el 17 octubre de 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2020b. Base topográfica de Galicia (BTG). Disponible online: <https://mapas.xunta.gal/es/mapas/productos-cartograficos/base-topografica> (acceso el 17 octubre 2024)

XUNTA DE GALICIA; 2020c. Geodatabase de aprovechamientos forestales. Disponible online: <https://mapas.xunta.gal/visores/aproveitamentos/> (acceso el 17 octubre de 2024)

XUNTA DE GALICIA; 2020d. Zonas de Especial Protección de los Valores Naturales (ZEPVN). Disponible online: <https://www.sergas.gal/Saude-publica/GIS-Rede-espazos-protexidos?idioma=es> (acceso el 17 octubre de 2024)

XUNTA DE GALICIA; 2021. 1ª Revisión do Plan Forestal de Galicia. Disponible online: <https://mediorural.xunta.gal/sites/default/files/temas/forestal/plan-forestal/20211112-Plan-Forestal-Galicia-2021-2040.pdf> (acceso el 17 octubre de 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2022. Mapa de Coberturas de suelo de Media resolución 2022. Disponible online: <https://invega.xunta.gal/invega/descargas> (acceso el 17 octubre de 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2023. Observatorio demográfico. Disponible online: https://observatoriodemografico.xunta.gal/sites/default/files/2023-12/informe_situacion_demografica_galicia.pdf (acceso el 17 octubre de 2024).

XUNTA DE GALICIA; 2024. Sistema de indicadores da administración dixital. Disponible online: https://indicadores-forestal.xunta.gal/portal-bi-internet/dashboard/Dashboard.action?selectedScope=OBSFOR_BI_A02_INT&selectedLevel=OBSFOR_BI_3_INT.L0&selected



Unit=12&selectedTemporalScope=2&selectedTemporal=31/12/2022 (acceso el 17 octubre 2024).

ZIMBALATTI, G.; PROTO, A.R.; 2010. Productivity of forwarders in south Italy. In Proceedings of the 44th FORMEC Symposium, Padova, Italy, 11–14 July 2010; Disponible online: <https://www.formec.org/images/proceedings/2010/Ab108.pdf> (acceso el 17 marzo de 2023).