2025 GIJÓN | 16·20 JUNIO

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1926

Organiza

Sociedad Española de Ciencias Forestales SECF

Unificando el IFN con Tecnologías Semánticas para su Análisis Multidimensional

CRESPO-LERA, N. (1,2), VÁZQUEZ-VELOSO, A. (2), VEGA-GORGOJO, G. (1,2), GIMÉNEZ-GARCÍA, J.M. (1,2), BRAVO, F. (2) y RUANO, I. (2)

(1) Grupo de Sistemas Inteligentes y Cooperativos (GSIC) ETSI de Telecomunicación, Universidad de Valladolid, Valladolid, España.

(2) SMART ecosystems research group, Instituto de Investigación en Gestión Forestal Sostenible (iuFOR), Universidad de Valladolid, Palencia, España.

Resumen

El Inventario Forestal Nacional (IFN) tiene un gran potencial para el análisis de los ecosistemas forestales españoles. Aunque los datos del IFN son públicos, la complejidad de su esquema, estar fragmentado en provincias, los cambios estructurales entre ediciones del inventario y el uso de un formato propietario como *Microsoft Access* dificulta considerablemente su utilización. Debido a esto, hemos creado *SemanticForest,* un repositorio de datos abiertos enlazados que integra las distintas ediciones del inventario disponiblescon otras bases de datos forestales utilizando tecnologías semánticas. De esta manera, ofrecemos casi 20 años de datos procedentes del muestreo sistemático de la superficie forestal nacional. En este trabajo presentamos diferentes ejemplos de consultas a este conjunto de datos para obtener información que apoye la toma de decisiones en la gestión de los recursos forestales.Los casos presentados ilustran escenarios de gestión de masas forestales, considerando características estructurales, biodiversidad, perturbaciones o cambios a lo largo del tiempo, abarcando varias ediciones del IFN. Además, dado que *SemanticForest* es abierto, cualquiera puede replicar las consultas y adaptarlas para sus propias necesidades. Asimismo, la información extraída de las consultas puede descargarse en diversos formatos.

Palabras clave

Inventario Forestal Nacional, datos abiertos enlazados, consultas SPARQL, gestión forestal, servicios ecosistémicos

1. Introducción

Los Inventarios Forestales Nacionales (IFN) son un conjunto de datos público y valioso para el análisis de los ecosistemas forestales en España (ALBERDI et al., 2017). Sin embargo, su complejidad en términos de formato y estructura limita su accesibilidad y uso efectivo. Para superar estas barreras, la base de datos *SemanticForest* integra los datos de la segunda (IFN2) y tercera (IFN3) edición del IFN, el Mapa Forestal Español a escala 1:50.000 (MFE50) y los límites municipales en formato de datos abiertos enlazados (LOD, por sus siglas en inglés, *Linked Open Data*) (BIZER et al., 2023).

El IFN2, realizado entre 1986 y 1996, incluye información sobre 93.084 parcelas distribuidas por toda España en una malla sistemática de 1 km x 1 km, con datos sobre las existencias forestales, las características físicas de las parcelas y el estado fitosanitario de la vegetación (ALBERDI et al., 2010). Por su parte, el IFN3 cubre 99.048 parcelas y amplía la información, incluyendo datos más detallados a nivel de árbol, así como nuevas variables relacionadas con las características fisiográficas de las parcelas, como el pH del suelo, la pedregosidad y el tipo de suelo, entre otros (ALBERDI et al., 2010).

El MFE50 complementa esta información al subdividir el territorio español en 874.979 teselas homogéneas en términos de uso del suelo, vegetación dominante y estado de desarrollo en las que se basa el IFN (VALLEJO, 2005). Toda esta información junto con los datos de límites territoriales, como los municipios, permite que la información esté geográficamente contextualizada y sea más fácil de consultar a nivel local.

SemanticForest, desarrollada a partir de una base de datos semántica previa (FIERRO et al., 2022; GIMÉNEZ-GARCÍA et al., 2024), adopta un enfoque innovador que supera las limitaciones de las bases de datos tradicionales. Basándose en los principios de los Datos Abiertos Enlazados (LOD) (BERNERS-LEE et al., 2001), organiza la información de forma que no solo garantiza su accesibilidad pública, sino que también optimiza su interoperabilidad con otros conjuntos de datos. Las consultas a la base de datos se realizan mediante SPARQL (W3C SPARQL Working Group, 2013), un lenguaje que permite extraer y analizar datos complejos, incluyendo consultas geoespaciales a través de GeoSPARQL (OGC, 2012). Además, la información puede descargarse en diversos formatos (JSON, CSV, RDF, entre otros) a través del CrossForest SPARQL Endpoint, promoviendo su reutilización.

La integración de bases de datos forestales y geoespaciales en *SemanticForest* no solo simplifican el acceso a la información, sino que también potencia la capacidad de realizar análisis multidimensionales a distintas escalas espaciales y temporales. Esto permite respaldar la toma de decisiones en la gestión de los recursos forestales basada en la información disponible, ofreciendo datos contextualizados que facilitan el análisis integral del territorio.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es demostrar la utilidad del conjunto de datos semántico *SemanticForest* mediante una serie de casos de estudio que aborden problemas reales en la gestión de los recursos forestales. Este enfoque busca apoyar la toma de decisiones basada en datos, aprovechando la abundante información pública disponible.

Para alcanzar este objetivo general, hemos definido los siguientes objetivos específicos:

- **Definir casos de uso** que ilustren el potencial de los datos abiertos enlazados para resolver problemas concretos en la gestión forestal.
- **Diseñar una serie de consultas SPARQL** adaptadas a cada caso de uso, con el fin de obtener la información necesaria para abordar los problemas definidos y facilitar análisis específicos.
- **Presentar los resultados** mediante mapas y/o tablas a partir de los datos extraídos de *SemanticForest*, proporcionando una visualización clara y comprensible de la información facilitando su interpretación y aplicación en los casos planteados.

3. Metodología

3.1. Descripción de los casos de estudio

A partir de problemáticas relevantes en el sector forestal para la gestión y conservación de los montes españoles planteamos dos casos de estudio que ilustran el potencial de los datos públicos e integrados de *SemanticForest* para abordar estas situaciones. Estos casos emplean información del IFN2, IFN3 y otras fuentes geoespaciales disponibles. La información relevante para apoyar los casos de estudio planteados se extrae del conjunto de datos a través de consultas SPARQL.

Caso de estudio I: Daños en plantaciones de Pinus radiata en el País Vasco

El primer caso de estudio se centra en el análisis de las parcelas de *Pinus radiata* en el País Vasco que han sufrido algún tipo de daño, bien sea de carácter biótico o abiótico, con el objetivo de detectar y priorizar zonas de actuación. Este enfoque surge ante la creciente amenaza que representan, especialmente en la cornisa cantábrica, los hongos defoliadores de la banda roja (*Dothistroma septosporum y Dothistroma pini*) y la banda marrón (*Lecanosticta acicola*) (MULLETT et al., 2018; AGUIRRE-PASCUAL, 2020). Ante esta situación, diversas administraciones, asociaciones de propietarios y profesionales del sector forestal han comenzado a trabajar en medidas como la mejora genética del pino para desarrollar individuos resistentes, el uso de tratamientos con óxidos cuprosos, la sustitución del pino insigne por especies más resilientes, o la creación de masas mixtas para reducir el impacto de dichos hongos, entre otras medidas.

En este trabajo, se analizan las parcelas del IFN3 de *Pinus radiata* del País Vasco en las que al menos un 10% de los pies de esta especie estén afectados por hongos, insectos o incendios. Solo hemos considerado las parcelas con un mínimo de 10 árboles muestreados. Además, relacionamos estas parcelas con variables como pedregosidad, pendiente, estado de desarrollo y volumen por hectárea. También se explora la posibilidad de identificar especies candidatas para la repoblación en áreas afectadas, seleccionando parcelas con mayor crecimiento en volumen entre el IFN2 y el IFN3 (9 años de diferencia en esta comunidad autónoma). Este análisis se centra en parcelas en estado de desarrollo fustal que no hayan sufrido incendios.

Caso de estudio II: Pinus pinaster y Eucalyptus globulus en Asturias

Este caso de estudio se centra en el análisis de dos especies clave para el sector forestal en Asturias: *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*. Mediante consultas a la base de datos *SemanticForest* se extrae información relevante sobre la localización de parcelas puras y mixtas de alta y baja diversidad para las especies señaladas. La información utilizada en estas consultas es la del IFN3 debido al cambio en el diseño de muestreo de las parcelas entre la segunda y tercera edición del inventario en esta comunidad autónoma, lo que impide la comparación entre ellos. Las parcelas se clasifican como:

- Puras: una única especie ocupa al menos el 90% del área basimétrica de la parcela.
- Mixtas de baja diversidad: están compuestas por dos especies que, en conjunto, suman al menos el 90% del área basimétrica de la parcela, siempre que cada un aporte un mínimo del 15% del área basimétrica total.
- Mixtas de alta diversidad: incluyen tres o más especies que, colectivamente, ocupan al menos el 90% del área basimétrica de la parcela, con cada especie representando al menos un 15% del área basimétrica total.

Además, se identifica la regularidad estructural de las parcelas mediante su distribución diamétrica:

- Regulares: Con 1 o 2 clases diamétricas.
- Irregulares: Con más de 2 clases diamétricas.

Otra consulta permite identificar parcelas con más de 10 árboles clasificados como de calidad 1 o calidad 2, según la clasificación del IFN3:

- Calidad 1: Árbol sano, vigoroso, óptimamente conformado y con excelentes perspectivas de futuro.
- Calidad 2: Árbol sano, vigoroso, con algún defecto de conformación, pero

con capacidad para proporcionar productos valiosos.

Para mostrar la capacidad de hacer agregaciones por límites territoriales, se clasifican los municipios según el promedio de árboles de calidad 1 y 2 por parcela, proporcionando una visión general de la calidad de estas especies a nivel local en Asturias.

Finalmente, se exploró la información disponible sobre el subpiso de matorral en las parcelas del IFN3 que presentan una cobertura superior al 50% por matorral. Esta información resulta útil para realizar cálculos de biodiversidad, comparar parcelas o estimar la captura de carbono en el estrato arbustivo.

3.2. Presentación de los resultados

Tras diseñar las consultas SPARQL para extraer la información relevante que respalda los casos de estudio, extraemos los datos con un navegador para introducir las consultas al punto SPARQL de *SemanticForest* (https://semanticforest.gsic.uva.es/sparql) y eligiendo el formato preferido de salida (CSV o JSON), como se muestra en la Figura 1. Los resultados se visualizan mediante mapas generados en QGIS o tablas complementadas con una breve descripción para facilitar su interpretación y análisis.

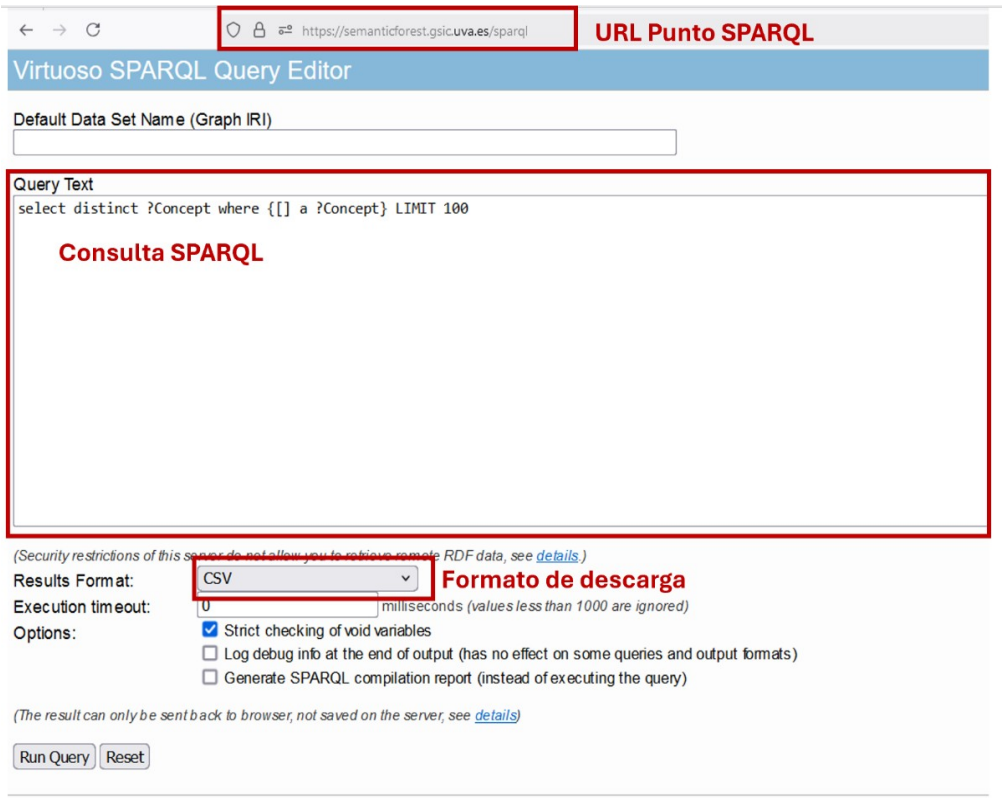

Figura 1. Punto SPARQL donde se realizan las consultas online a la base de datos integrada (SemanticForest).

Las consultas SPARQL diseñas para este trabajo se numeran en la siguiente sección y estan documentadas en un Github (https://github.com/nacresle/Consultas-SPARQL-CFE9).

4. Resultados

4.1 Caso de estudio I: Daños en plantaciones de *Pinus radiata* en el País Vasco

A través de una consulta a *SemanticForest* (Consulta 1), hemos identificado las parcelas del IFN3 en el País Vasco que contienen al menos un 10% de árboles de *Pinus radiata* afectados por hongos, insectos o incendios, y hemos evaluado el grado de daño en cada una de ellas. La Figura 2 muestra la localización de estas parcelas, clasificadas según el tipo de daño predominante y su grado de gravedad (alto, medio o bajo).

El análisis reveló un total de 82 parcelas en el País Vasco con *Pinus radiata* como especie dominante, de un total de 1.069 parcelas en el IFN3. Estas parcelas se distribuyen de la siguiente manera:

- **Álava:** con 5 parcelas, se trata de la provincia con menor superficie de plantaciones de *Pinus radiata.* 4 de ellas presentan daños por hongos y 1 por incendios de gravedad baja. Las dos parcelas situadas en el noreste, cerca del límite con Guipúzcoa, tienen aproximadamente un 40% de árboles de *Pinus radiata* afectados.
- **Guipúzcoa:** 13 parcelas, de las cuales 9 están afectadas por hongos, 2 por insectos y 2 por incendios. La mayoría presenta daños de gravedad baja, salvo una parcela al este, que presenta daños graves por incendio. En esta provincia, 3 parcelas tienen más del 50% de los árboles afectados, dos por incendios y una en el este debido a insectos.
- **Vizcaya**: 64 parcelas, principalmente en las zonas este y oeste de la provincia. En la zona oeste, los daños son principalmente por insectos, mientras que en el noreste predominan los daños por hongos. En el noreste de Vizcaya, 16 parcelas están afectadas por daños bióticos, de las cuales 6 por insectos y 10 por hongos, con más del 80% de los árboles afectados. Esta es la provincia con el mayor número de parcelas, donde más de la mitad de los árboles inventariados presentan daños.

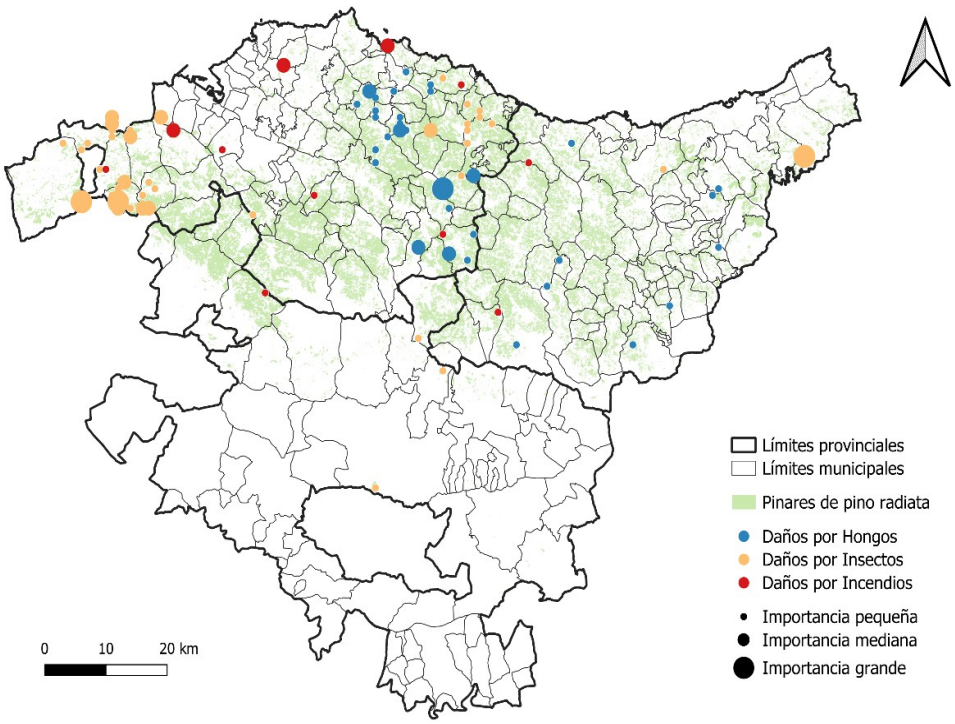

Figura 2. Parcelas del IFN3 donde se han detectado daños a Pinus radiata en el País Vasco.

Para caracterizar las parcelas afectadas por los daños, realizamos una consulta adicional a *SemanticForest* (Consulta 2), con la que se extrajeron datos sobre el grado de pedregosidad, la pendiente media de la parcela, el volumen de madera de *Pinus radiata* por hectárea en cada parcela y el estado de desarrollo de las masas.

En la Figura 3 se observa que la mayoría de las parcelas (51%) tienen baja pedregosidad, con menos del 25% de la superficie cubierta por rocas coherentes. Un 38% de las parcelas no presentan pedregosidad, mientras que el 11% restante tiene más del 25% de su superficie cubierta por rocas. En cuanto a la pendiente, la mayor parte de las parcelas de *Pinus radiata* afectadas en el País Vasco (67%) tienen pendientes superiores al 20%.

Utilizando la misma consulta, también extrajimos el volumen de madera de *Pinus radiata* en las parcelas previamente identificadas como afectadas por daños, presentado en la Figura 4. Por último, la Figura 5 ilustra el estado de desarrollo de las parcelas, mostrando que la mayoría se encuentran en su último estadio de desarrollo (78% parcelas en estado fustal). Hay que tener en cuenta que los datos originales del IFN3 no contienen información de la clasificación de pendiente de las parcelas de la provincia de Álava, por esta razón no se muestran en esta figura.

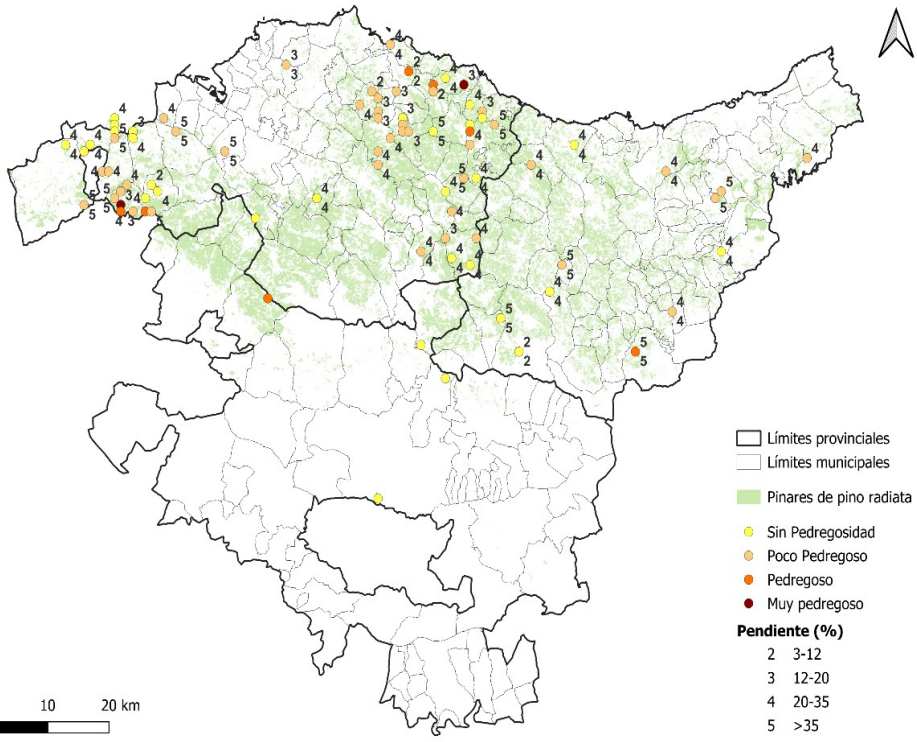

Figura 3. Grado de pedregosidad y pendiente media (%) de las parcelas del IFN3 con Pinus radiata que presentan algún daño biótico o abiótico.

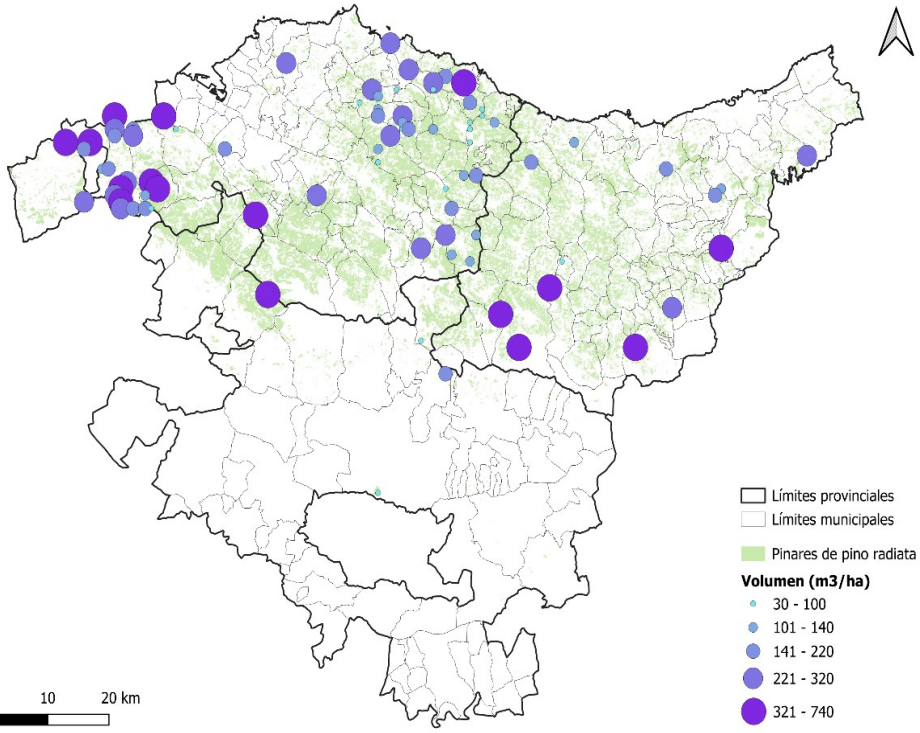

Figura 4. Representación del rango de volumen (m^3/ha) de Pinus radiata en las parcelas que presentan daños bióticos o abióticos.

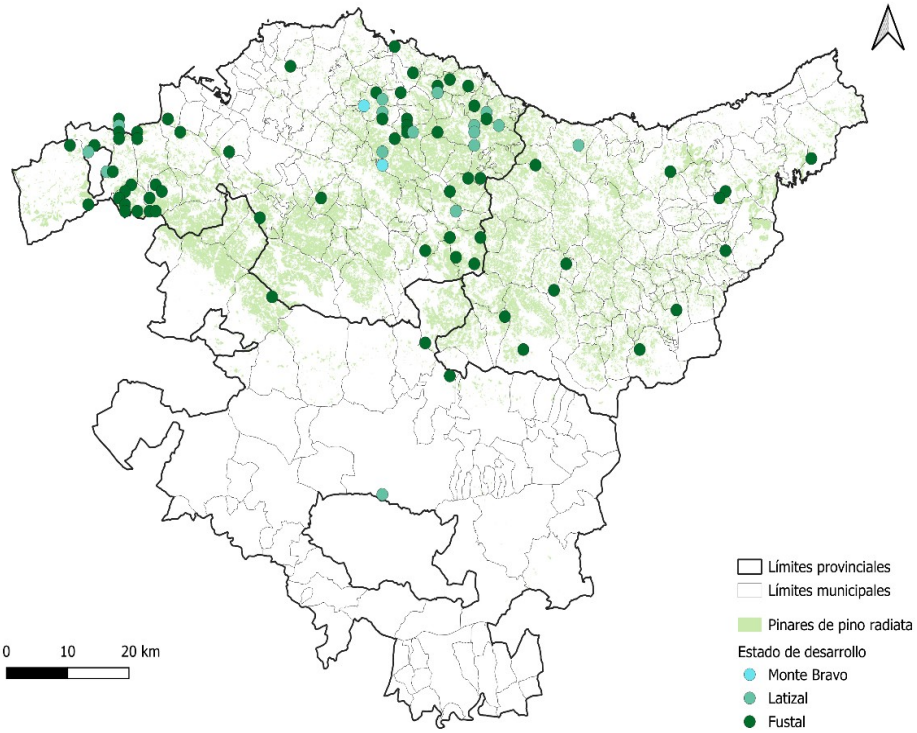

Figura 5. Estado de desarrollo de Pinus radiata en las parcelas del IFN3 que presentan daños bióticos o abióticos.

Para identificar las especies que experimentaron el mayor aumento en volumen entre el IFN2 e IFN3, realizados en el País Vasco en 1996 y 2005 respectivamente,

preparamos una consulta adicional (Consulta 3). En esta, calculamos la media de la diferencia en volumen con corteza (m^3/ha) de las distintas especies muestreadas entre ambos inventarios.

En esta consulta, filtramos únicamente las masas en estado fustal que presentaban una diferencia mayor a 100 m^3/ha, con el fin de identificar las especies con mayor crecimiento en volumen por provincia del País Vasco. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 1, donde se destacan en verde las tres especies que más crecieron entre ambos inventarios, observándose pocas diferencias entre las provincias.

Tabla 1. Especies con un mayor incremento en volumen de media entre la segunda y tercera edición del inventario (diferencia de 9 años para esta comunidad autónoma) por provincia del País Vasco.

Provincia	Especie	Media incremento en volumen (m3/ha)
Álava	Chamaecyparis lawsoniana	239,17
	Pseudotsuga menziesii	215,41
	Pinus radiata	192,03
	Pinus nigra	166,52
	Fagus sylvatica	155,81
	Quercus robur	137,82
	Pinus sylvestris	123,41
	Quercus faginea	120,52
	Pinus pinaster	105,96
	Quercus ilex	103,60
Guipúzcoa	Chamaecyparis lawsoniana	233,69
	Pinus radiata	215,28
	Quercus rubra	177,09
	Larix	165,07
	Pinus nigra	156,69
	Pseudotsuga menziesii	153,93
	Fagus sylvatica	136,58
	Castanea sativa	111,89
	Quercus robur	111,19

Vizcaya	Eucalyptus globulus	227,98
Pinus radiata	209,98	
Chamaecyparis lawsoniana	190,82	
Pinus pinaster	175,29	
Quercus robur	170,74	
Fagus sylvatica	169,77	
Pinus nigra	125,93	
Larix	124,28	
Alnus glutinosa	122,61	

4.2 Caso de estudio II: *Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus* en Asturias

En la provincia de Asturias, se registran 2.565 parcelas del IFN3, de las cuales 72 contienen *Pinus pinaster* y 140 *Eucalyptus globulus* como especies dominantes, dos de las especies más relevantes para la industria forestal local. Para este caso, se llevaron a cabo consultas a *SemanticForest* con el fin de identificar las parcelas puras (Consulta 4) y mixtas (Consulta 5) de cada una de estas especies. En la Figura 6 se presenta un mapa que muestra la distribución de las parcelas puras y mixtas de estas especies.

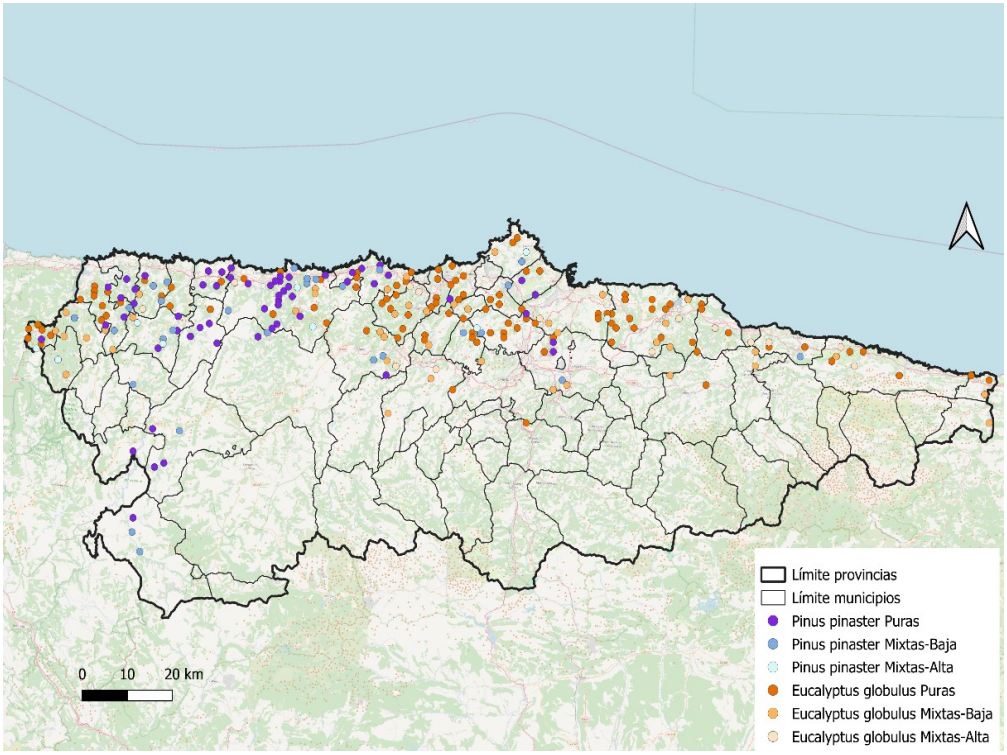

Figura 6. Parcelas puras y mixtas, con distinto grado de diversidad, de Pinus pinaster y Eucalyptus globulus en Asturias.

Según los datos extraídos, se observa que, para ambas especies, las parcelas puras superan en número a las mixtas en una proporción aproximada de 60:40. Dentro de las parcelas mixtas, más de la mitad presentan baja diversidad, es decir, están compuestas por solo dos especies. Las tres especies más comunes en mezcla con *Pinus pinaster* son *Eucalyptus globulus*, *Quercus robur* y *Pinus radiata*, mientras que las especies más frecuentes en mezcla con *Eucalyptus globulus* en las parcelas asturianas son *Castanea sativa*, *Pinus pinaster* y *Quercus robur*, en ese orden de importancia respectivamente.

También se extrajo información sobre las parcelas regulares (Consulta 6) e irregulares (Consulta 7) de estas dos especies, cuya distribución geográfica se muestra en la Figura 7. La mayoría de las parcelas de *Eucalyptus globulus* son irregulares (59%), y de estas, el 43% presentan cinco o más clases diamétricas distintas. En cuanto a las parcelas de *Pinus pinaster*, el 52% son irregulares, y de ellas, el 60% cuentan con cinco o más clases diamétricas distintas.

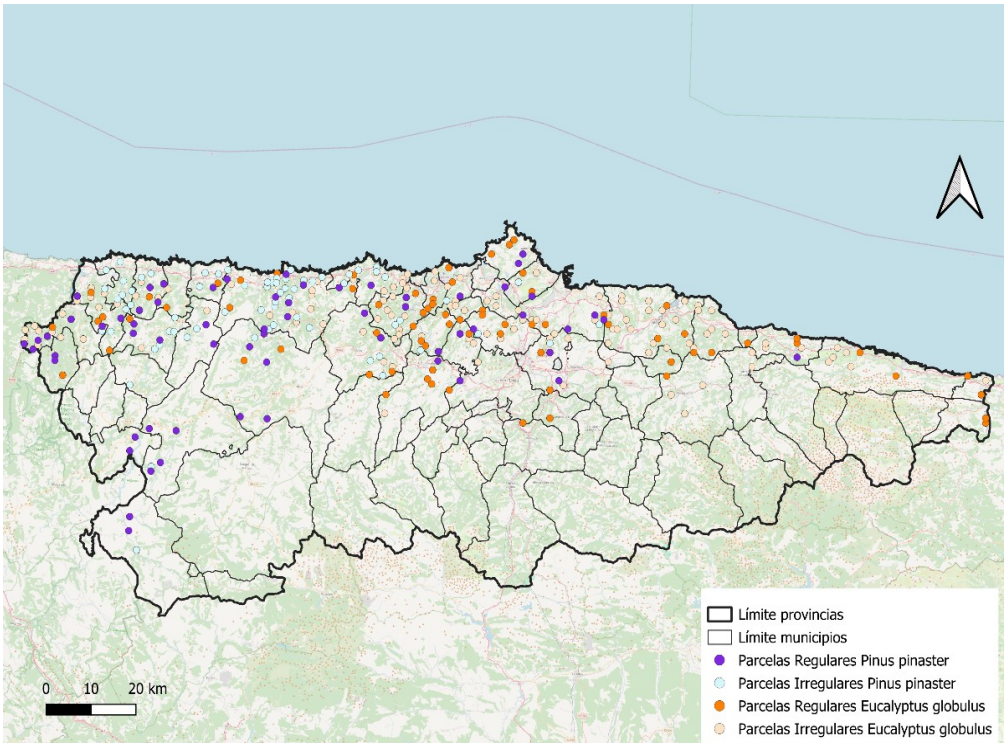

Figura 7. Parcelas regulares e irregulares de Pinus pinaster y Eucalyptus globulus en Asturias.

Además, realizamos consultas (Consulta 8) para seleccionar las parcelas con el mayor número de árboles de mejor calidad. Las Figuras 8 y 9 muestran las parcelas *de Pinus pinaster* y *Eucalyptus globulus*, respectivamente, que contienen más de 10 árboles de calidad 1 y/o 2, así como los municipios con un mayor número promedio de estos árboles. La clasificación de calidad se detalla en el apartado de metodología.

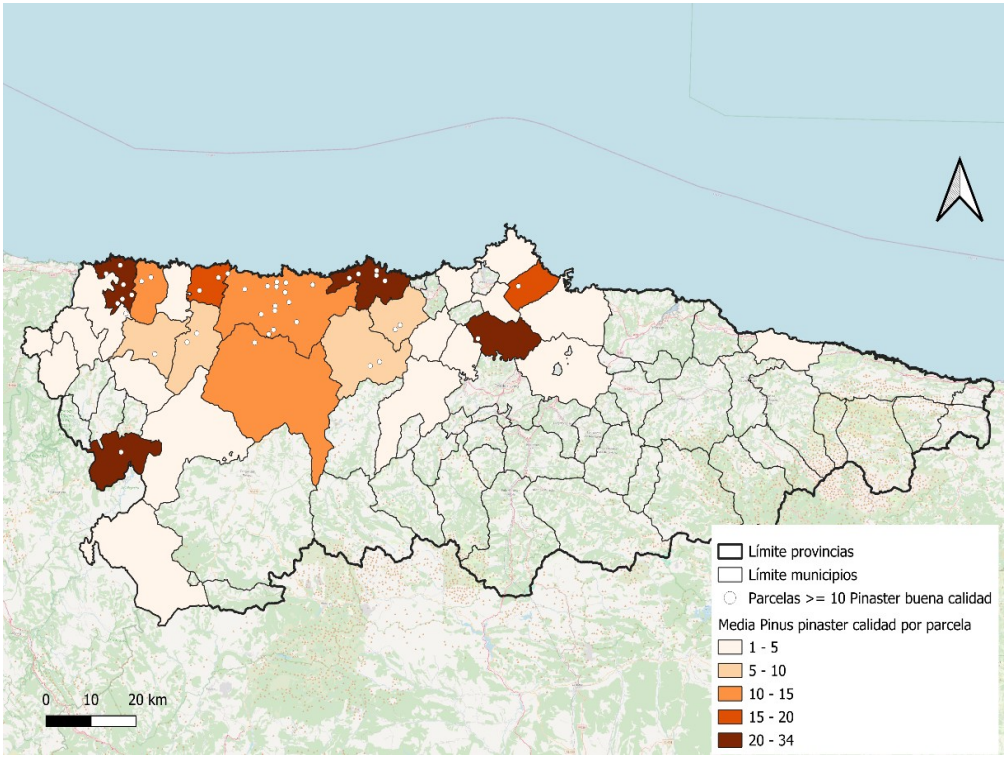

Figura 8. Municipios clasificados según la media de Pinus pinaster de calidad 1 y 2 por parcela y parcelas que tienen al menos 10 pies de estas calidades.

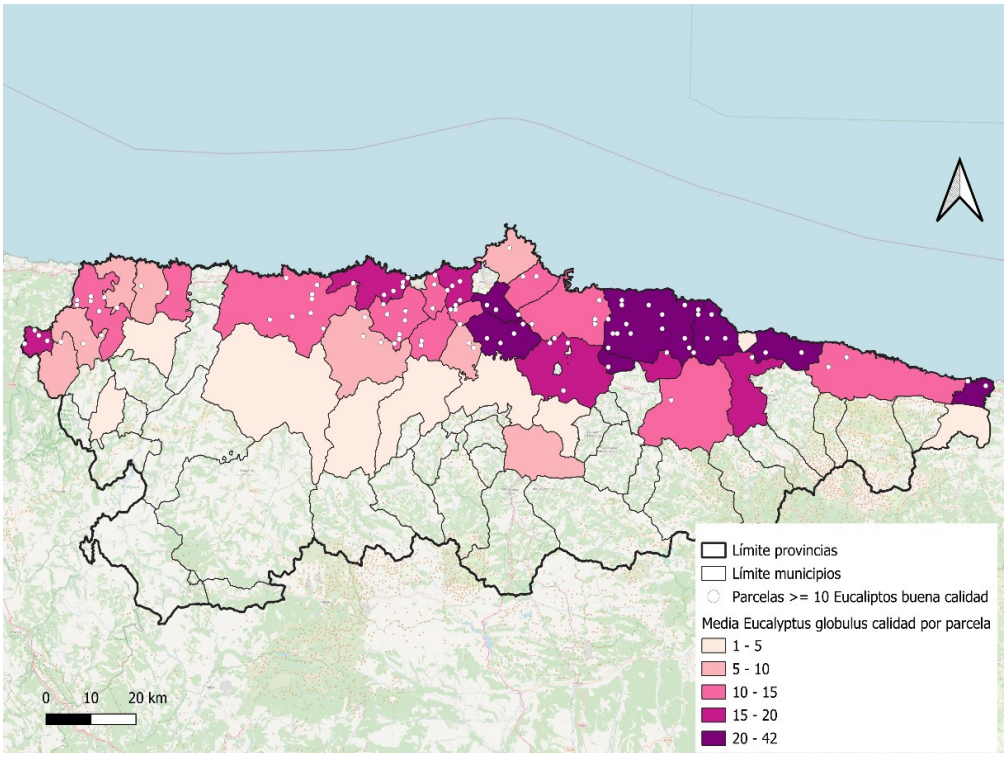

Figura 8. Municipios clasificados según la media de Eucalyptus globulus de calidad 1 y 2 por parcela y parcelas que tienen al menos 10 pies de estas calidades.

Finalmente, extrajimos también información del subpiso de matorral para aquellas parcelas en las que este ocupaba igual o más del 50% de fracción de cabida cubierta (FCC) de la parcela (Consulta 9). Se obtuvo así información de las

especies de matorral de cada parcela de Asturias que ocupaban igual o más de la mitad de la parcela, su altura media (Hm) y su FCC (%). Esta información se puede utilizar para calcular el carbono almacenado por este tipo de vegetación, analizar el riesgo de propagación de incendios forestales, o comparar zonas y parcelas con distintas especies arbóreas. Por ejemplo, las 5 especies de matorral que se encuentran más presentes en las parcelas de *Pinus pinaster* en Asturias son: *Ulex* spp., *Daboecia cantabrica*, *Rubus* spp, *Calluna vulgaris* y *Erica* spp. respectivamente, mientras que para *Eucalyptus globulus son las mismas especies, pero en distinta proporción: Rubus* spp., *Ulex* spp., *Daboecia cantabrica, Erica* spp *y Calluna vulgaris.*

5. Discusión

En este trabajo se ha demostrado el potencial de *SemanticForest* como fuente para a gestión y análisis de los recursos forestales. Los casos de estudio presentados ilustran cómo la capacidad de realizar consultas específicas a una base de datos integrada, que combina diversas fuentes públicas como el IFN2, el IFN3, el MFE50 y otros conjuntos de datos, facilita la toma de decisiones informadas.

En el caso de los daños en las plantaciones de *Pinus radiata* en el País Vasco, los resultados muestran la utilidad de los datos obtenidos del IFN3 y el MFE50 para identificar las zonas afectadas por daños y evaluar su grado de afectación en las plantaciones. Además, se caracterizaron las parcelas según su pedregosidad, pendiente y estado de desarrollo, lo cual puede ayudar a plantear intervenciones adaptadas a las condiciones específicas de cada masa forestal y a priorizar las zonas de actuación. Por otro lado, el análisis permitió la identificación de especies candidatas en base a su crecimiento para sustituir o crear masas mixtas con *Pinus radiata* en las zonas afectadas, como *Chamaecyparis lawsoniana*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus pinaster* o *Eucaliptus globulus*. Aunque abordar este tipo de decisiones conlleva otras implicaciones no abordadas en este estudio (como las relacionadas con la gestión forestal, el aprovechamiento maderero industrial, el rendimiento económico o los requerimientos ecológicos de cada especie), este análisis proporciona una visión general que sirve como punto de partida para la toma de decisiones en una gestión forestal adaptativa , reduciendo el esfuerzo de trabajar con bases de datos tan extensas y sus correspondientes desafíos.

En el segundo caso de estudio, se destacó la cantidad de información que se puede obtener de bases de datos públicas para tener una visión general sobre la biodiversidad y la calidad del arbolado en términos maderables. Esta información se hace cada vez más necesaria y relevante debido a la mayor resistencia y resiliencia que muestran las masas mixtas (PARDOS et al., 2021; VERGARECHEA et al., 2021), especialmente teniendo en cuenta el actual contexto de cambio climático (RODRÍGUEZ DE PRADO, 2023). Por otro lado, la información relativa al matorral puede ser un factor a tener en cuenta en la gestión forestal por sus implicaciones en la prevención de incendios forestales (AGEE y SKINNER, 2005; BAEZA et al., 2005), su papel en la fijación de carbono (GONZÁLEZ et al., 2020) o en términos de biodiversidad (MARCHETTI, 2005). De nuevo, queda patente cómo el reducido esfuerzo realizado a través de estas consultas puede proporcionar gran cantidad de información como punto de partida para posteriores tomas de decisiones.

El uso del conjunto de datos *SemanticForest* nos ha permitido extraer información para casos de uso específicos como los aquí mostrados, aunque su alcance es mayor y se encuentra en continuo desarrollo. Además, ofrece la posibilidad de adaptar las consultas a diferentes escenarios ajustando los umbrales de filtrado,

seleccionando especies, modificando la zona de estudio, realizando consultas en las que intervienen varias fuentes (p.e., cálculo del incremento en volumen entre inventarios), y estableciendo características específicas de la zona de estudio, entre otros factores.

También, es importante destacar que los inventarios y las distintas bases de datos forestales integradas contienen más datos que no han sido explorados en este trabajo como los modelos de combustible de las parcelas, las características del suelo o la madera muerta en pie, lo que abre la puerta a análisis forestales de diversas temáticas y con fines muy variados. Si bien las bases de datos empleadas en el momento de redactar este documento no son las más actuales, la futura ampliación de la base de datos de *SemanticForest* con nuevas bases de datos (IFN4, MFE25, límites comarcales…) permitirá realizar consultas de carácter más reciente sin perder la posibilidad de consultar las bases de datos de mayor antigüedad, aumentando su posibilidad de uso.

6. Conclusiones

Este trabajo ha demostrado la utilidad de la base de datos semántica *SemanticForest* en la obtención de información para abordar desafíos específicos en la gestión de los recursos forestales, mejorando la toma de decisiones a través de bases datos públicas integradas. La plataforma ofrece una gran flexibilidad al permitir la adaptación de consultas a diferentes contextos y casos de uso. Sin embargo, es importante destacar que la calidad y precisión de los resultados dependen de la calidad de los conjuntos de datos utilizados, los cuales pueden variar según la calidad de la base de datos original. Por tanto, para mejorar la aplicabilidad y precisión de los resultados, es esencial la colaboración con gestores y expertos forestales que validen y enriquezcan los análisis.

Esta base de datos integrada ofrece un primer paso para obtener información de manera eficiente, sin necesidad de conocimientos de manejos de datos y con un mínimo gasto de recursos computacionales, dado que la información utilizada es pública y las consultas permiten extraerla rápidamente. A medida que se amplíe con nuevos datos y se desarrollen herramientas y consultas parametrizadas para que los usuarios no necesiten realizar directamente las consultas SPARQL, algo que ya se está empezando a implementar (VEGA-GORGOJO et al., 2025; CRESPO-LERA et al, 2025), se podrán abordar de forma más exhaustiva otros aspectos clave de la gestión forestal. Esto incluye la estimación de índices de densidad de masa, el cálculo de carbono fijado y emitido entre inventarios, así como el análisis de la evolución de los ecosistemas a lo largo del tiempo y en distintos límites geográficos.

Todas las consultas SPARQL utilizadas en este trabajo están disponibles en GitHub, y los usuarios pueden recrearlas o modificarlas según sus necesidades (https://github.com/nacresle/Consultas-SPARQL-CFE9).

7. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada por el proyecto nacional LOD.For.Trees (TED2021-130667B-I00), por el proyecto europeo Small4Good (101135517) y por fondos obtenidos de la Unión Europea y al Consejo de Educación de la Junta de Castilla y León (ORDEN EDU/842/2022 y ORDEN EDU/1009/2024).

8. Bibliografía

AGEE, J. K.; SKINNER, C. N.; 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments. *For. Ecol. Manage.* 211(1–2): 83–96. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.01.034.

AGUIRRE-PASCUAL, E. 2020. La enfermedad de la Mancha marrón, *Lecanosticta acicola*: Gran amenaza desde 2018 para las repoblaciones de *Pinus radiata* en el País Vasco. *Montes*, (140).

ALBERDI, I.; VALLEJO, R.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; CONDÉS, S.; GONZÁLEZ-FERREIRO, E.; GUERRERO, S.; HERNÁNDEZ, L.; MARTÍNEZ-JAUREGUI, M.; MONTES, F.; OLIVEIRA, N.; PASALODOS-TATO, M.; ROBLA, E.; RUIZ-GONZÁLEZ, A. D.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, M.; SANDOVAL, V.; SAN MIGUEL, A.; SIXTO, H.; y CAÑELLAS, I. 2017. The multi-objective Spanish National Forest Inventory. *Forest Systems*, 26(2), e04S. https://doi.org/10.5424/fs/2017262-10577

ALBERDI, I.; CONDÉS, S.; MILLÁN, J. M.; SAURA MARTÍNEZ DE TODA, S.; SÁNCHEZ, G.; PÉREZ, F.; VILLANUEVA, J. A.; VALLEJO, R. 2010. National Forest Inventories Report, Spain. En: TOMPPO, E.; GSCHWANTNER, T.; LAWRENCE, M.; MCROBERTS, R. E. (eds.) National Forest Inventories: pathways for Common Reporting. *Springer*. pp. 529-540.

BAEZA, M. J.; VALDECANTOS, A.; VALLEJO, V. R.; 2005. Management of Mediterranean shrublands for forest fire prevention. *New research on forest ecosystems.* Nova Science Publ. Inc. 37–60. Hauppauge.

BERNERS-LEE, T.; HENDLER, J.; LASSILA, O. 2001. The Semantic Web. En: *Scientific American*, Vol. 284, pp. 34-43.

BIZER, C.; HEATH, T.; BERNERS-LEE, T. 2023. Linked Data - The Story So Far. Linking the World's Information: Essays on Tim Berners-Lee's Invention of the World Wide Web (1st ed.). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 115–143. https://doi.org/10.1145/3591366.3591378

CRESPO-LERA, N., VEGA-GORGOJO, G., GIMÉNEZ-GARCÍA, J., VÁZQUEZ-VELOSO, A., BRAVO, F., RUANO, I., 2025. Dashboard para la Visualización y Consulta de Información Forestal Multi-Inventario. Actas del 9º Congreso Forestal Español

FIERRO, B.; ROLDÁN-ZAMARRÓN, A.; LERNER, M.; BAIGET, R.; AGUIRRE, F.; GONZALVO, V.; VEGA-GORGOJO, G.; GIMÉNEZ, J. M.; ORDÓÑEZ, C.; BRAVO, F.; FONSECA, A.; GOMES, A.; FANEGO, A.; LORENZANA, J.; PORTOLÉS, D. 2022. Cross-Forest, un proyecto de datos forestales abiertos de España y Portugal. En: *Actas del 8º Congreso Forestal Español* (Lérida, España), p. 13.

GIMÉNEZ-GARCÍA, J.M., VEGA-GORGOJO, G., ORDÓÑEZ, C., CRESPO-LERA, N., BRAVO, F., 2024. Improving availability and utilization of forest inventory and land use map data using Linked Open Data. Frontiers in Forests and Global Change. 7, 1329812

GONZÁLEZ, G. M.; LEIVA, C. L.; RUIZ-PEINADO, R.; SENESPLEDA, E. L.; ONRUBIA, R.; PASOLODOS, M.; 2020. Producción de biomasa y fijación de carbono por los matorrales españoles y por el horizonte orgánico superficial de los suelos forestales. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica. Madrid.

MARCHETTI, M. (Ed.); 2005. Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe: from ideas to operationality. European Forest Institute. Vol. 58. Joensuu, Finland.

MULLETT, M. S.; ADAMSON, K.; BRAGANÇA, H.; BULGAKOV, T. S.; GEORGIEVA, M.; HENRIQUES, J.; JÜRISOO, L.; LAAS, M.; DRENKHAN, R. 2018. New country and regional records of the pine needle blight pathogens *Lecanosticta acicola*, *Dothistroma septosporum* and *Dothistroma pini*. *European Journal of Forest Pathology*, 48(5). https://doi.org/10.1111/efp.12440.

OGC 2012. OGC GeoSPARQL: A Geographic Query Language for RDF Data, Version 1.0. Disponible en: http://www.opengis.net/doc/IS/geosparql/1.0. Acceso en junio de 2023.

PARDOS, M.; DEL RÍO, M.; PRETZSCH, H.; JACTEL, H.; BIELAK, K.; BRAVO, F.; BRAZAITIS, G.; DEFOSSEZ, E.; ENGEL, M.; GODVOD, K.; et al.; 2021. The greater resilience of mixed forests to drought mainly depends on their composition: Analysis along a climate gradient across Europe. *For. Ecol. Manage.* 481: 118687.

RODRÍGUEZ DE PRADO, D.; VÁZQUEZ VELOSO, A.; QIAN, Y. F.; RUANO, I.; BRAVO, F.; HERRERO DE AZA, C.; 2023. Can mixed forests sequester more CO2 than pure forests in future climate scenarios? A case study of *Pinus sylvestris* combinations in Spain. *Eur. J. For. Res.* 142(1): 91–105.

VALLEJO, R. (2005). El Mapa Forestal de España escala 1:50.000 (MFE50) como base del Tercer Inventario Forestal Nacional. En: *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, Nº 19 (Actas de la I Reunión Inventario y Teledetección), pp. 205-210. ISSN 1575-2410, ISSN-e 2386-8368.

VEGA-GORGOJO, G., EVAGGELATOS, S., PERREAS, N., MICHALAKOPOULOS, S., GIMÉNEZ-GARCÍA, J.M., CRESPO-LERA, N., ORDÓÑEZ, C., BRAVO, F., 2025. Descarga IFN: aplicación web para la extracción multicriterio de parcelas. Actas 9º Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

VERGARECHEA, M.; CALAMA, R.; PRETZSCH, H.; ALDAY, J. G.; DEL RÍO, M.; 2021. Short- and long-term growth response to climate in mixed and monospecific forests of *Pinus pinea* and *Pinus pinaster*. *Eur. J. For. Res.* 140(2): 387–402.

W3C SPARQL Working Group. 2013. SPARQL 1.1 Overview. W3C Recommendation 21 March 2013. Disponible en: http://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-overview-20130321/.