

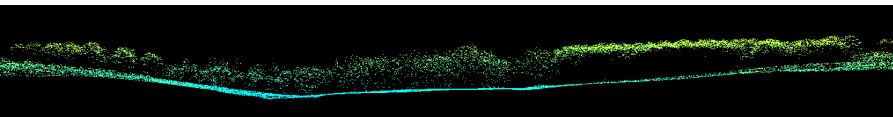
Trabajos realizados en las CCAA de Extremadura, Galicia y León usando las parcelas del Inventario Forestal Nacional con datos LiDAR-PNOA.

Juan Guerra Hernández– Centro de Estudos Florestais, ISA Universidade de Lisboa (Portugal) [juanguerra@isa.ulisboa.pt]

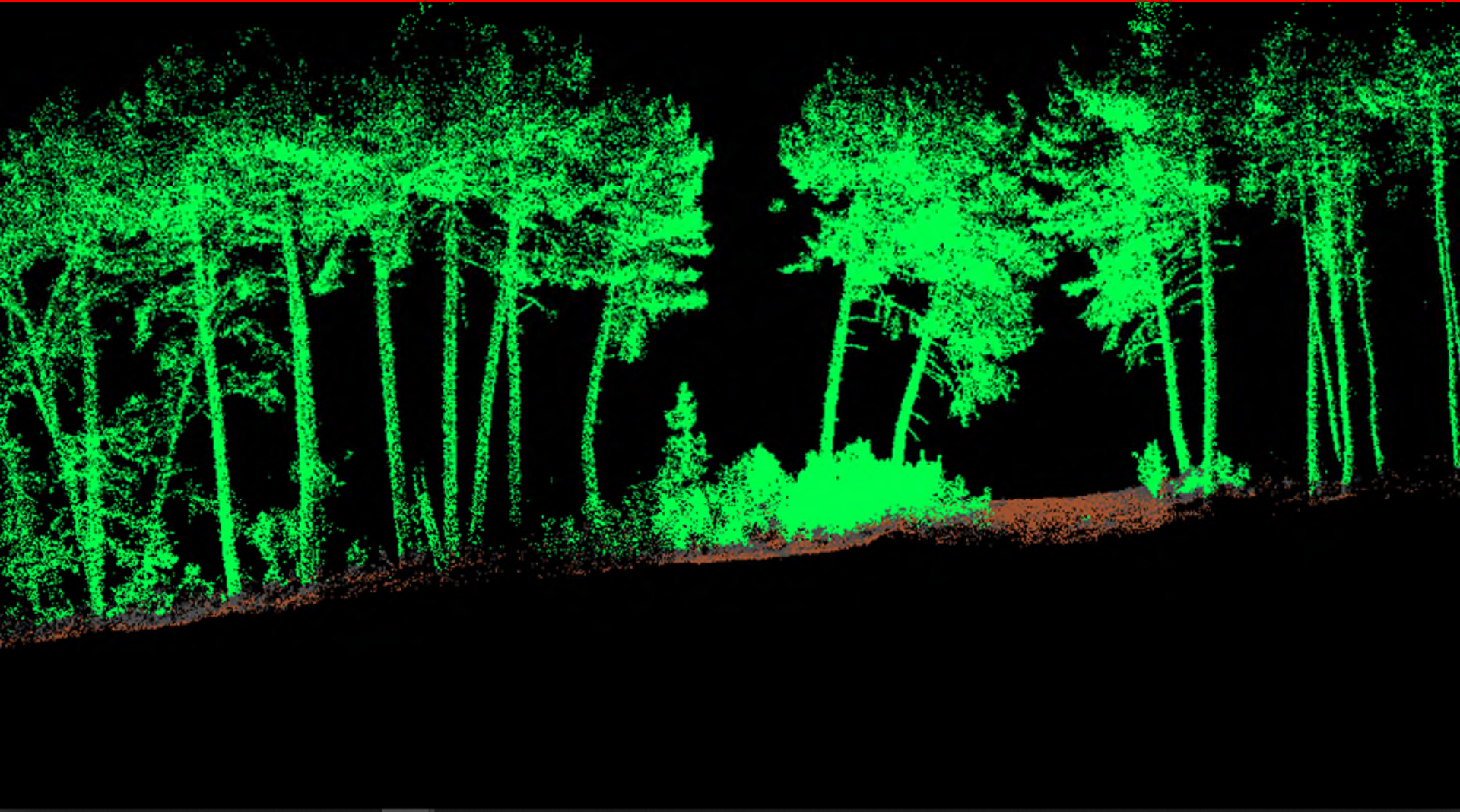
Seminario: Las nuevas tecnologías aplicadas al conocimiento de los ecosistemas forestales- IFN5. Valsain (Segovia), 5- 7 de Junio 2024



- 1) Introducción Inventario Forestal com LiDAR
- 2) Estudios Expansión Inventario Forestal Nacional con PNOA-LiDAR (Extremadura, Galicia, León)
- 3) Puntos de partida para la posterior discusión en la Mesa redonda



Introducción

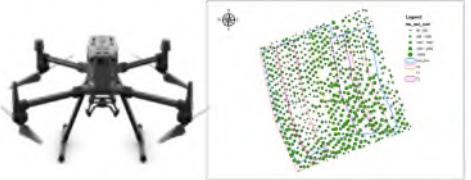


Consideraciones (stand- vs árbol individual)

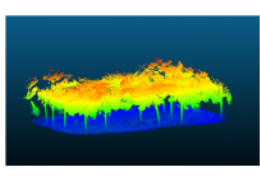
		Tipo de masa forestal	Escala (Metodología)			
			Regional	Rodal (>25 ha)	Parcela	
LiDAR data	LiDAR Aéreo	0.5- 2 ptos/m ²	<i>Masas regulares densos/plantaciones monoespecíficas (i.e Eucalipto, P.pinaster)</i>	ABA	ABA	✗
			<i>Masas irregulares/mixtas/densas (i.e Mixtas Quercineas)</i>	ABA	ABA	✗
	> 2 ptos/m ²	<i>Masas abiertas (i.e dehesas/formaciones P.pinea)/plantaciones</i>	ITC	ITC	ITC	
LiDAR Terrestre	✗	> 10000 ptos/m ²	<i>Masas regulares densas/irregulares/ mixtas</i>	ITC/ABA	ITC/ABA	ITC
			<i>Todo tipo de estructura florestal</i>	↑ ✗	↑ ✗	ITC QSM
			<i>Parcelas de inventario forestal/Muestra inventario forestal tradicional</i>			



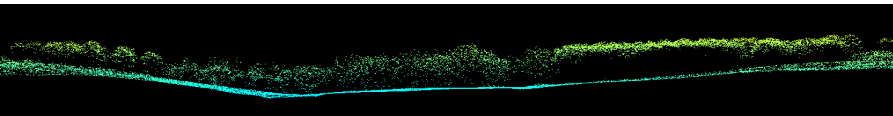
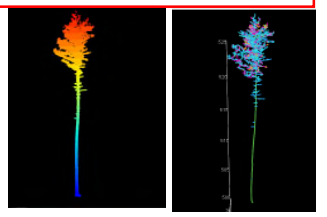
ABA. Area based approach



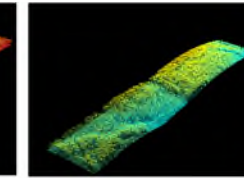
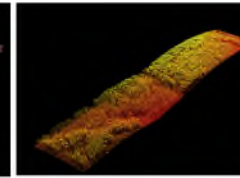
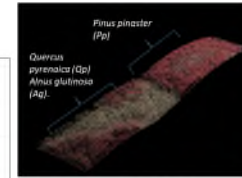
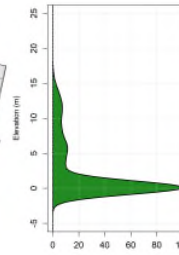
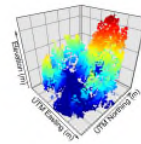
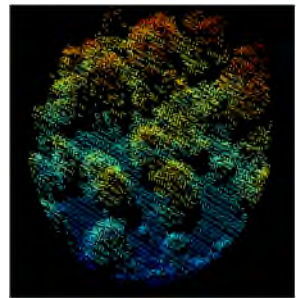
ITC. Individual tree crown approach



QSM. Quantitative Structural Models



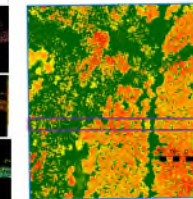
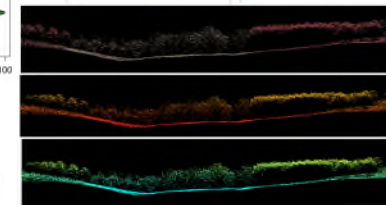
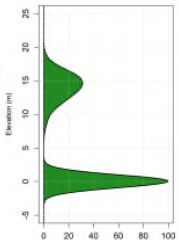
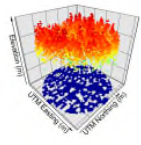
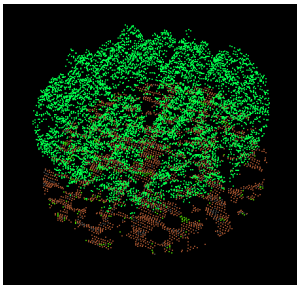
Expansión IFN con Proyecto PNOA-LiDAR



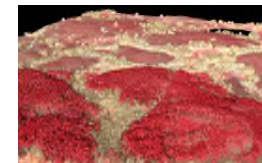
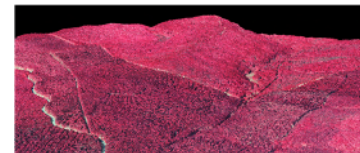
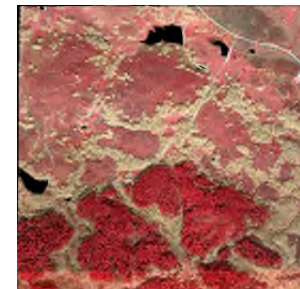
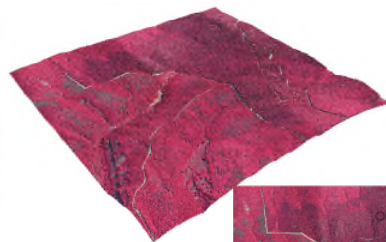
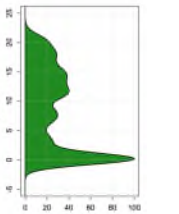
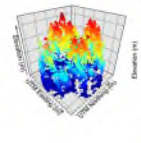
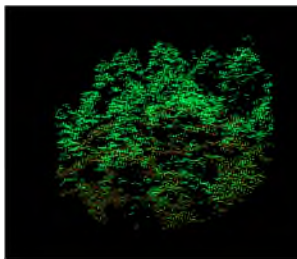
Pinus pinaster (Pp)

Quercus pyrenaica (Qp), *Alnus glutinosa* (Ag)

Pinus pinaster (Pp)

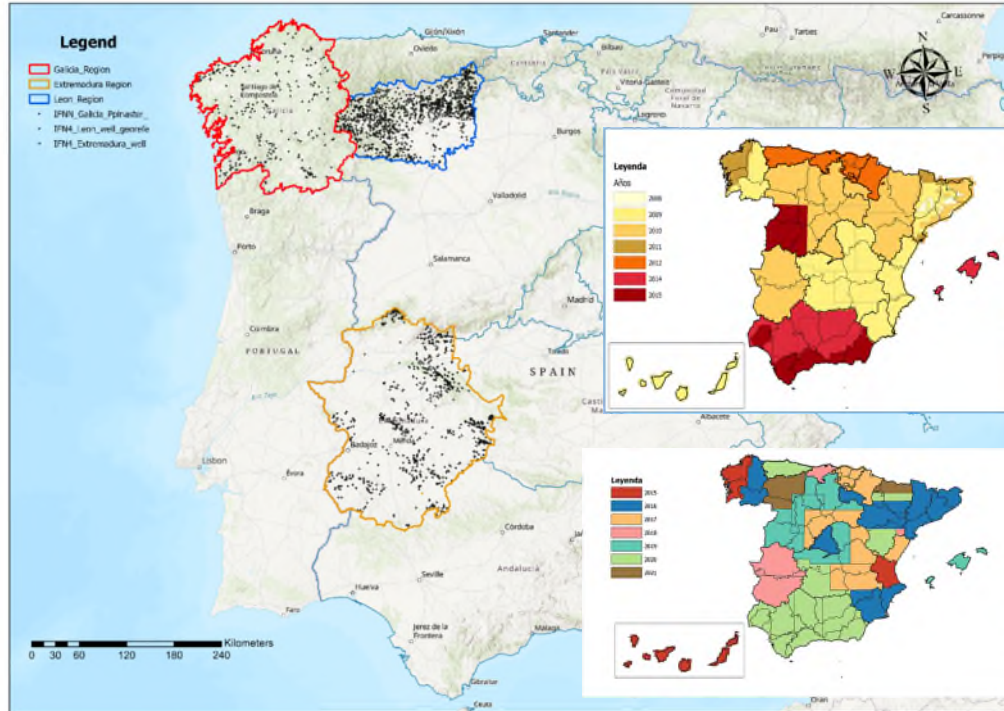


Legend
GHM_ALS
Value
High: 20.0
Low: 0



Expansión Inventario Forestal Nacional-PNOA-LiDAR

Centro de las parcelas con GPS de precisión submétrica a partir del año 2017 con precisión en postproceso de 1-2 m



Disponibilizadas en el ámbito:

- Proyectos CCAA de Extremadura, MITECO e proyectos investigación
- Solicitud autorización Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) para investigación

EXTREMADURA

IFN3 (2002)-IFN4 (2016-17)

2418 parcelas-774 coordenadas corregidas
PNOA-LIDAR (EXT-S/EXTN)

2010 (0.5 ptos/m²)

2018-2019 (1-2 ptos/m²)

LEON

IFN4 (2019)

1401 parcelas-1174 coordenadas
corregidas

PNOA-LIDAR (CyL-NW) 2021 (2 ptos/m²)

GALICIA

IFN4 (2008-09)-IFNN (2016-2017)

258 parcelas corregidas *P. radiata* e
P. pinaster

PNOA-LIDAR (GAL-W, GAL-E)

2010-2011 (0.5 ptos/m²)

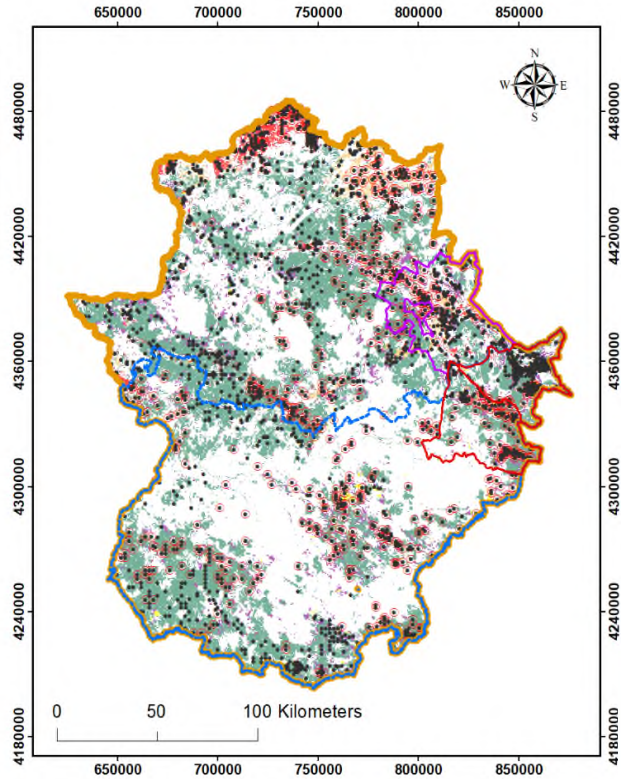
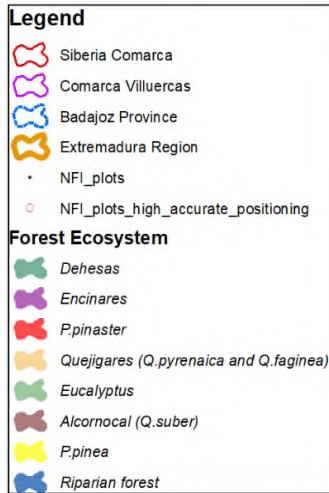
2015-2016 (1-2 ptos/m²)



**Reproducir estudios McRoberts et al.,
2018 en nuestras masas forestales IFN-
PNOA LiDAR con grande desfase
temporal**

McRoberts, R. E., Chen, Q., Gormanson, D. D., & Walters, B. F. (2018). The shelf-life of airborne laser scanning data for enhancing forest inventory inferences. *Remote sensing of environment*, 206, 254-259.

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(EXTREMADURA)



PROYECTOS

“Extensión continua a todo el territorio de Extremadura e Islas Canarias de los valores de las parcelas del IFN4 mediante técnicas LiDAR”. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio ambiente (nº EXP 2017/000013). Año de ejecución 2018. Coordinador Vicente Sandoval-Altelarrea/Elena Robla Gonzalez)



“Extensión del cuarto inventario forestal nacional mediante técnicas LiDAR para la gestión sostenible de los montes de Extremadura” Servicio de Ordenación y Gestión Forestal (FEADER nº 1952SE1FR435). Año de ejecución 2020. Coordinador Alfonso Jurado-Varela

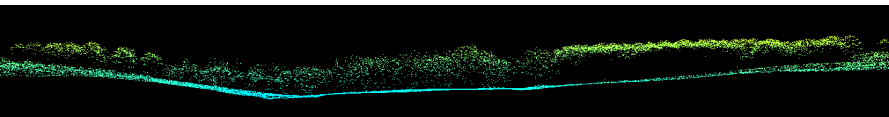
JUNTA DE EXTREMADURA

Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural,
Población y Territorio



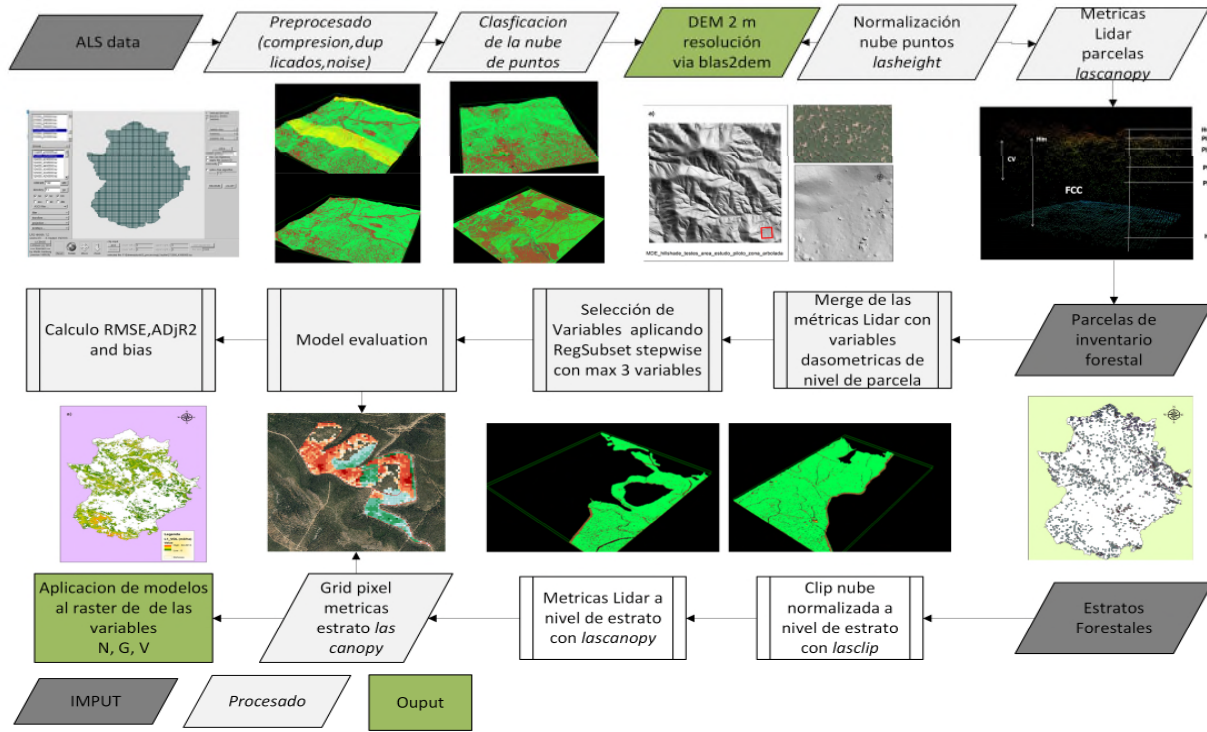
PUBLICACIONES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

- 6 artículos científicos indexados JCR Web of Science
- 3 artículos de conferencia (Congreso AET 2019, 8CFE Congreso Forestal Español 2022)
- 1 artículo divulgación técnica Revista-Montes



Seminario las nuevas tecnologías aplicadas al conocimiento de los ecosistemas

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(EXTREMADURA)



Hardware: Intel®Core i9-7900X workstation with 64 GB of RAM 20 cores

Software: multicore Lastools <https://rapidlasso.com/lastools>



High Performance Computing (HPC) (3 cobertura PNOA 5 puntos/m²)

Figure 1. Flowchart Regional ALS-based models to estimate forest inventory variables

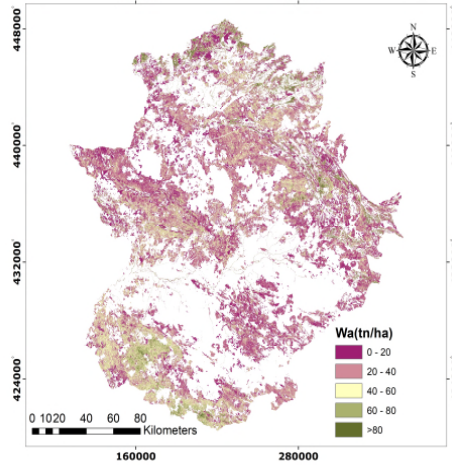
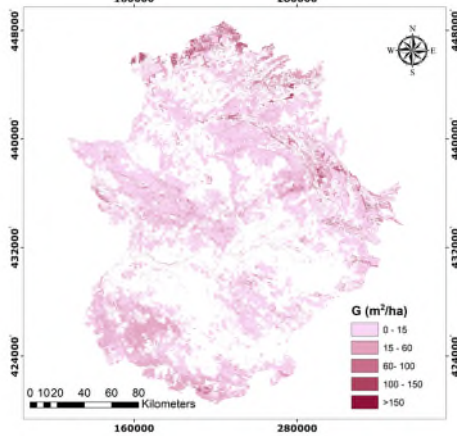
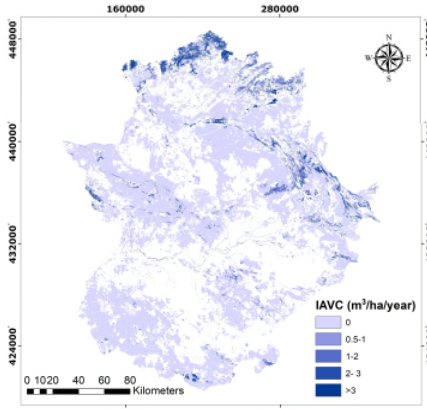
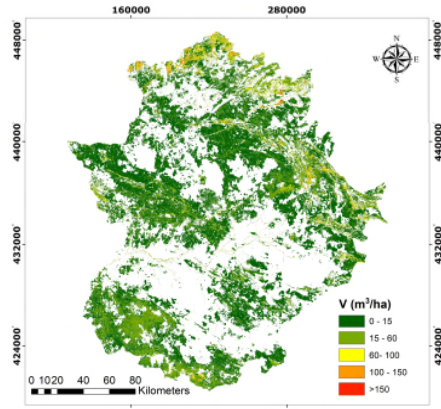
Tabla 1. Organización de los ficheros originales .las de CCAA de Extremadura (2 ptos/m²)

Provincia	Número .las
Cáceres (2 ptos/m ²)	6127 ficheros .laz
Badajoz(1 ptos/m ²)	5393 ficheros .laz
Total	11520 ficheros .laz



Extensión del cuarto inventario forestal nacional mediante técnicas LIDAR para la gestión sostenible de los montes de Extremadura” Servicio de Ordenación y Gestión Forestal (FEADER nº 1952SE1FR435).

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(EXTREMADURA)



[Centro de descargas - SITEX \(gobex.es\)](http://gobex.es)

CENTRO DE DESCARGAS / CATÁLOGO DE PRODUCTOS

PRODUCTO	FORMATO	AÑO	DESCARGA	PDF
Montes comunales	shp	2018	(D)	(P)
Montes de Entidad Pública	shp	2013	(D)	(P)
Montes protectores	shp	2013	(D)	(P)
Terceros afectados / IFOA 2016	shp	2016	(D)	(P)
Terceros afectados / IFOA 2016	shp	2016	(D)	(P)
Instalación diseminada - Área boscosa (I) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Área boscosa (II) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Zona seca (I) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Zona seca (II) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Parcelas de cabida cubierta (I) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Parcelas de cabida cubierta (II) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Montes de entidad pública (I) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Montes de entidad pública (II) 2018	shp	2018	(D)	(P)
Instalación diseminada - Valerón con cortavientos 2018	shp	2018	(D)	(P)

Extensión del cuarto inventario forestal nacional mediante técnicas LiDAR para la gestión sostenible de los montes de Extremadura” Servicio de Ordenación y Gestión Forestal (FEADER nº 1952SE1FR435).

Seminario las nuevas tecnologías aplicadas al conocimiento de los ecosistemas

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(EXTREMADURA)

Desarrollo de modelo LiDAR de masa (ABA)

Estrato de vegetación LiDAR	Formación arbolada	Numero de parcelas	Vcc (m³/ha)	G (m²/ha)	IAVC(m³/ha/año)	AGB(Mg/ha)
Eficiencia del Modelo (EF)						
1	Dehesas	239	0,29	0,30	0,22	0,27
2	Encinares	90	0,44	0,55	0,16	0,61
3.1	Pinares de Pinus pinaster zona Siberia	30	0,78	0,68	0,51	0,61
3.2	Pinares de Pinus pinaster resto	52	0,83	0,74	0,68	0,79
4	Mixtas de encinares y otras frondosas	38	0,53	0,57	0,55	0,55
5	Masas mixtas de otras frondosas	25	0,84	0,76	0,84	0,76
6	Robledal (Leaf-off)	38	0,40	0,39	0,26	0,54
7	Eucaliptales	78	0,72	0,65	0,74	0,76
8	Alcornocales	45	0,64	0,74	0,72	0,84
9.1	Pinares de Pinus pinea Siberia	33	0,87	0,80	0,63	0,84
9.2	Pinares de Pinus pinea Resto	32	0,89	0,80	0,63	0,86
10	Masas mixtas de pinar y otras frondosas	24	0,87	0,77	0,62	0,92
11	Bosques de ribera	37	0,83	0,48	0,64	0,53
12	Madroñales	27*	0,44	0,51	0,54	0,65
13	Masas mixtas de Eucalipto con otras frondosas;y choperas	28*	0,86	0,53	0,87	0,76
14	Castañares	25*	0,54	0,59	0,53	0,59
15	Masas mixtas de coníferas	37*	0,70	0,68	0,61	0,73

*Los modelos ajustados con combinación de parcelas con mayor y menor precisión en términos de georeferenciación

Menor eficiencia de los modelos en **masas abiertas** como los **terrenos adeshados, masas mixtas y robledales en leaf-off.**

Los modelos predictivos de masa desarrollados mejor performance en **masas puras y continuas** como **alcornocales, eucaliptares, pinares e mixtas de pinares**

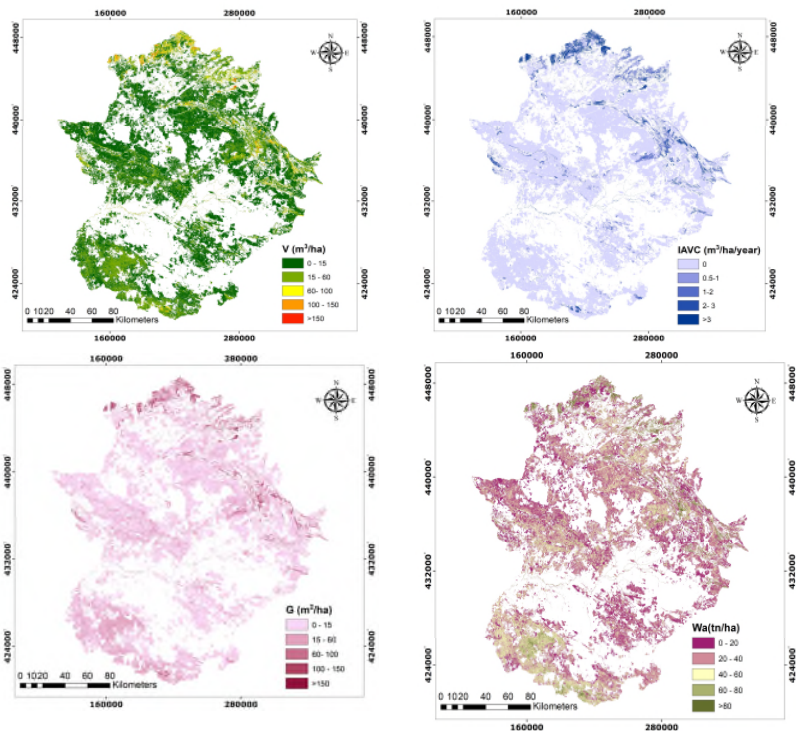
Insuficiente número de parcelas corregidas **< 30** para generar un modelo robusto en diferentes **formaciones mas minoritarias**



Figura 1. Estratos de vegetación LiDAR utilizados para elaborar los modelos predictivos de masa

Extensión del cuarto inventario forestal nacional mediante técnicas LiDAR para la gestión sostenible de los montes de Extremadura” Servicio de Ordenación y Gestión Forestal (FEADER nº 1952SE1FR435).

Estimación incerteza usando model-based inference



Estimador del error estandar (SE):

$$\widehat{SE}_{\hat{\mu}} = \sqrt{\frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N Z_i' \hat{\sigma}^2 \{\hat{\beta}\} Z_j}$$

where $z_{ij} = \partial f(X_i, \beta) / \partial \beta_j$ are the elements of vector Z_i , β_j are the parameters of the model (Eq. 1), and $\hat{\sigma}^2 \{\hat{\beta}\}$ is an estimator of the parameter variance-covariance matrix as described in McRoberts, (2006)

Resultados en términos de error relativo standard (SE) por tipo de bosque a nivel de pixel escala regional

V (Volume with bark, m³/ha), **3.34–14.46%**

G (Basal area, m²/ha), **3.22–12.50%**

IAVC (increase in total volume, m³/ha /year), **4.46%–16.67%**

AGB (aboveground biomass, Mg/ha), **3.63–12.58%**

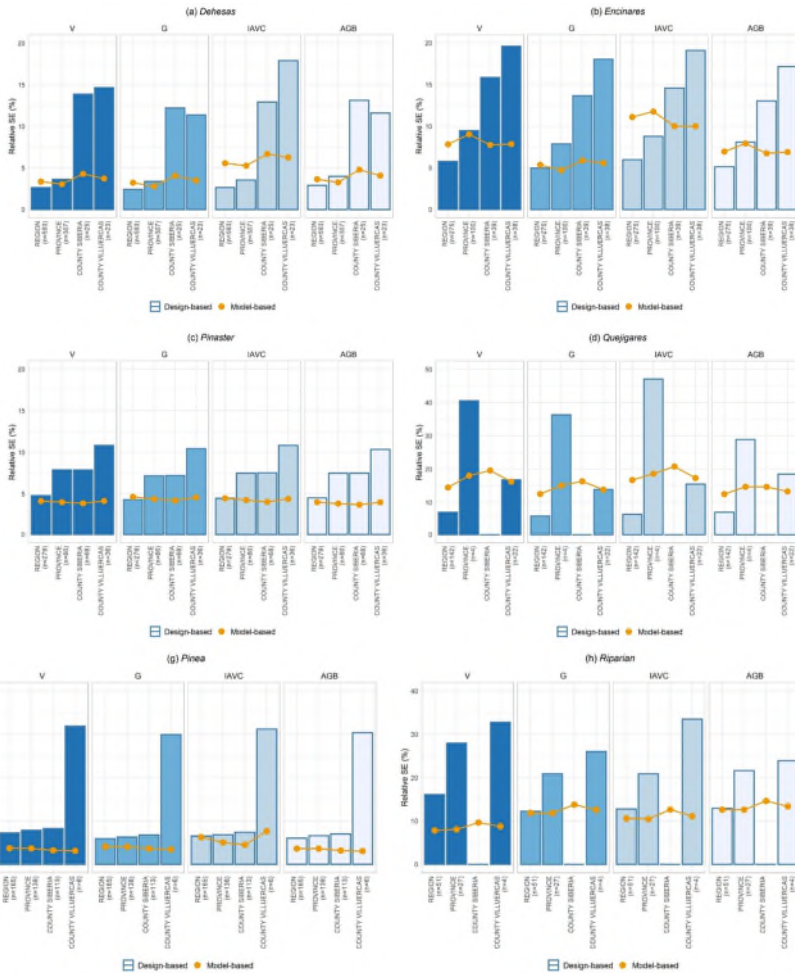
Métodos de inventario basado en modelos. La **estimación de la incertidumbre** desde el punto de vista computacional bastante intenso **a nivel regional** **25 m resolución** estudio reducido ~ selección 10% población de todos los pixeles de forma aleatoria.



Guerra-Hernández, J.,..., Martínez-Calvo A., Pérez-Cruzado C. 2022. Interpreting the uncertainty of model-based and design-based estimation in downscaling estimates from NFI data: a case-study in Extremadura (Spain). *GIScience & Remote Sensing*, 59, 686–704.

McRoberts, Ronald E. 2006. "A Model-Based Approach to Estimating Forest Area." *Remote Sensing of Environment* 103 (1). Elsevier: 56–66.

Comparativa errores IFN4 diseño de inventario (design-based) vs método inventario basado en modelos LiDAR (model-based) a diferentes escalas



Source: Hill et al 2021

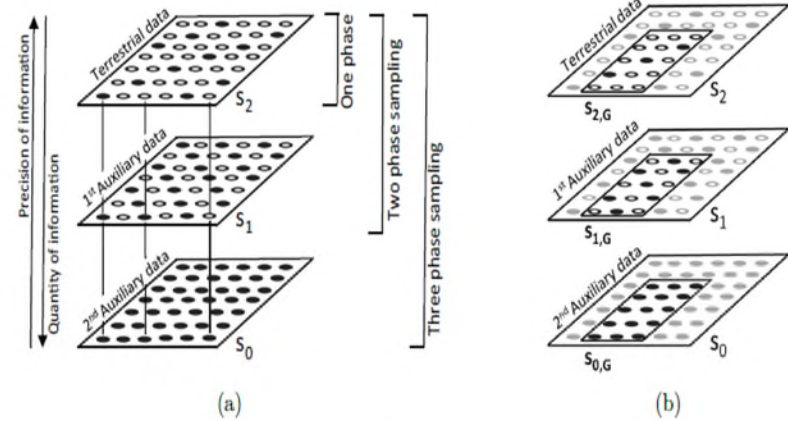


Figure 2: (a) Concept of multiphase sampling. The square represents the forest area for which an inventory is being conducted. The points denote the sample locations x . Filled points indicate available information. (b) Illustration of the small area estimation problem.

Posibilidad de combinar ambos métodos de inventario con **small area estimators (SAE)** (Breidenbach J. 2012, Mauro et al. 2017) para mejorar estimativas en áreas mas pequeñas (i.e municipios, comarcas)

Guerra-Hernández, J., Jurado-Varela, A., Martínez-Calvo A., Perez-Cruzado C. 2022. Interpreting the uncertainty of model-based and design-based estimation in downscaling estimates from NFI data: a case-study in Extremadura (Spain). *GIScience & Remote Sensing*, 59, 686–704.

Hill, A., Massey, A., Mandallaz, D., 2021. The R Package forestinventory: Design-Based Global and Small Area Estimations for Multiphase Forest Inventories. *J. Stat. Softw.* 97 (4).

Breidenbach J, Astrup R. Small area estimation of forest attributes in the Norwegian National Forest Inventory. *Eur J For Res.* 2012; 1±13.

Mauro, F., Monleon, V. J., Temesgen, H., & Ford, K. R. (2017). Analysis of area level and unit level models for small area estimation in forest inventories assisted with LiDAR auxiliary information. *PLoS one*, 12(12)

Efecto posicionamiento parcelas IFN4 en modelos LiDAR de masa

1. **POS_{LA}**. Low-accurate GNSS devices (GARMIN 76™, rango de error 5 to 15 m)
2. **POS_{HA}**. high-accurate positioning GNSS TRIMBLE Juno 5B Handheld (rango de error 1-2 m when post-processing)

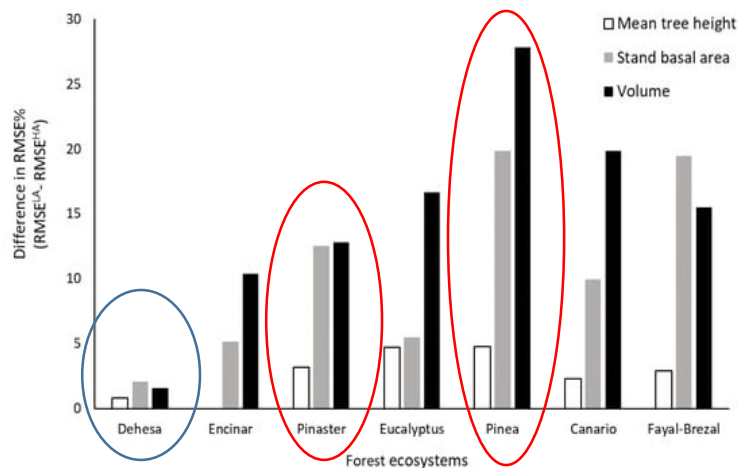
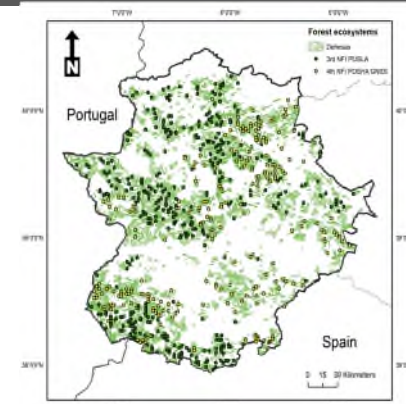
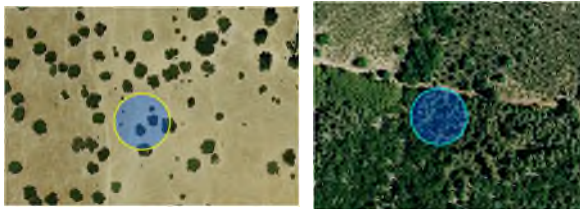


Figure 4. Variation in RMSE% accounted as the difference between traditional low-accuracy positioning (POS_{LA}) and high-accuracy positioning (POS_{HA}).



Incrementos en terminos de RMSE%:

- ❑ Rango entre 2.1% en Dehesas y 19.9% en *P.pinea* en área basal (G).
- ❑ Rango entre 1.6% en Dehesas y 27.8% en *P.pinea* en Volumen con corteza (V).
- ❑ El coste de usar parcelas con menor precision en la modelización de la altura media fue menos 5% todos los casos



Avaliar los criterios en la revisita las parcelas IFN para corregir el posicionamiento y centrar los esfuerzos especialmente en zonas fragmentadas

Pascual, A., Guerra-Hernández, J., Cosenza, D. N., & Sandoval-Altelaarrea, V. (2020). The role of improved ground positioning and forest structural complexity when performing forest inventory using airborne laser scanning. *Remote Sensing*, 12(3), 413.

Estudios multitemporales PNOA-LiDAR para estimar crecimiento en Biomasa aérea a nivel regional

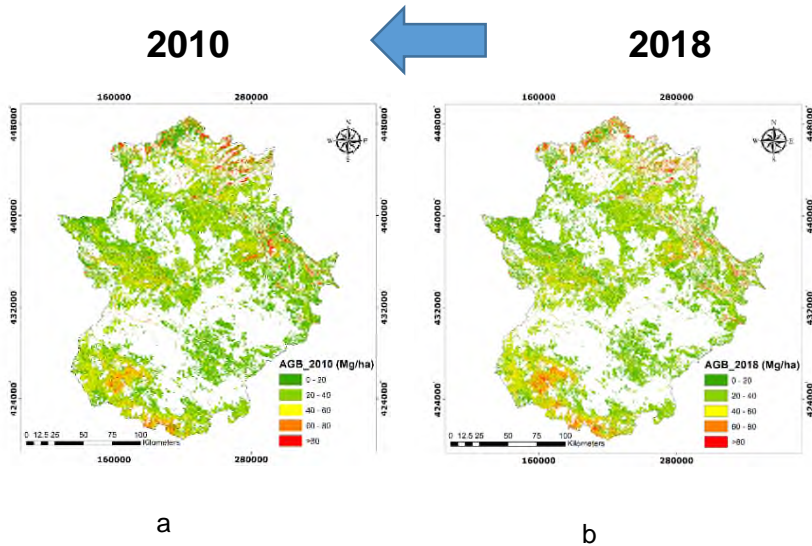
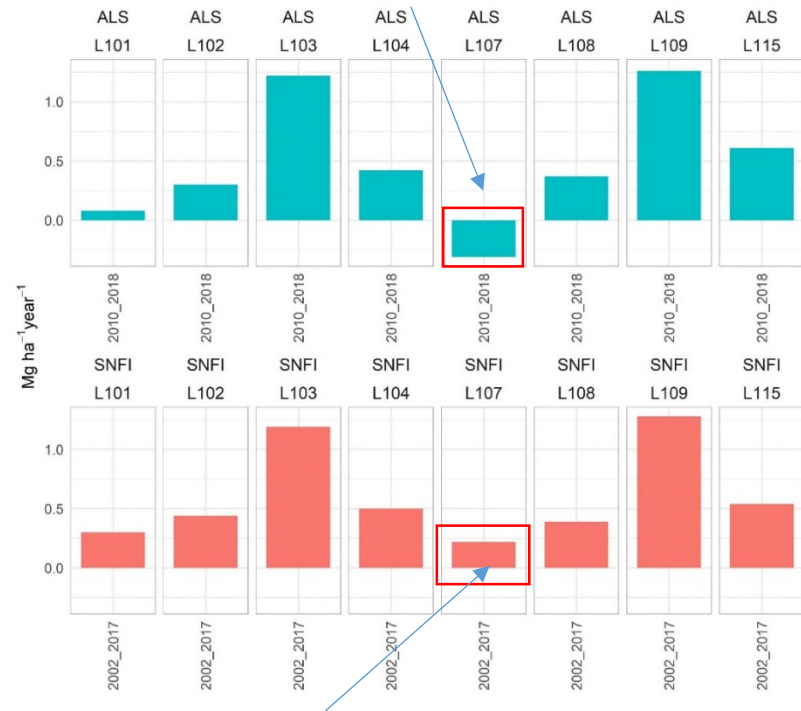


Figure 1. AGB-ALS maps (year 2010 (a) and 2018 (b) developed under model-based inference using area-based approach (ABA) for each forest stratum.

Guerra-Hernández, J., Pascual, A., ...Jurado-Varela, A., & Sandoval-Altelaarrea, V. (2024). Using bi-temporal ALS and NFI-based time-series data to account for large-scale aboveground carbon dynamics: the showcase of mediterranean forests. *European Journal of Remote Sensing*, 57(1), 2315413.

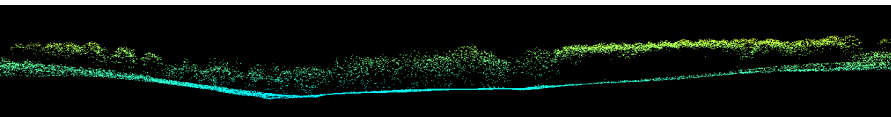
Domingo, Darío, Rafael Alonso, María Teresa Lamelas, Antonio Luis Montealegre, Francisco Rodríguez, and Juan de la Riva. 2019. "Temporal Transferability of Pine Forest Attributes Modeling Using Low-Density Airborne Laser Scanning Data." *Remote Sensing* 11 (3): 261.

Estimativas crecimiento con mapas LiDAR en términos de incrementos en biomasa están detectando decrecimiento debido a cortas 30000 ha de Eucalipto en la region de Extremadura en los montes públicos de Extremadura



Aunque el Mapa Forestal de España (MFE) está detectando un decrecimiento en superficie de Eucalipto, el diseño de inventario IFN3-IFN4 no parece eficiente para detectar la disminución en las estimativas de incremento medio anual de biomasa a nivel de estrato del MFE.

Figure 2. L101 *Dehesa-Montado*; L102 *Encinares (Q.ilex)*; L103, *P.pinaster*; L104, Mixed forest *Quercus ilex* ; L107, *Eucalyptus* spp L108; *Q. suber*; L109, *P.pinea* ; L115, Mixed forest conifers forest



Comparativa mapas PNOA-LiDAR con Mapas Globales (CCI-Biomasa a nivel regional

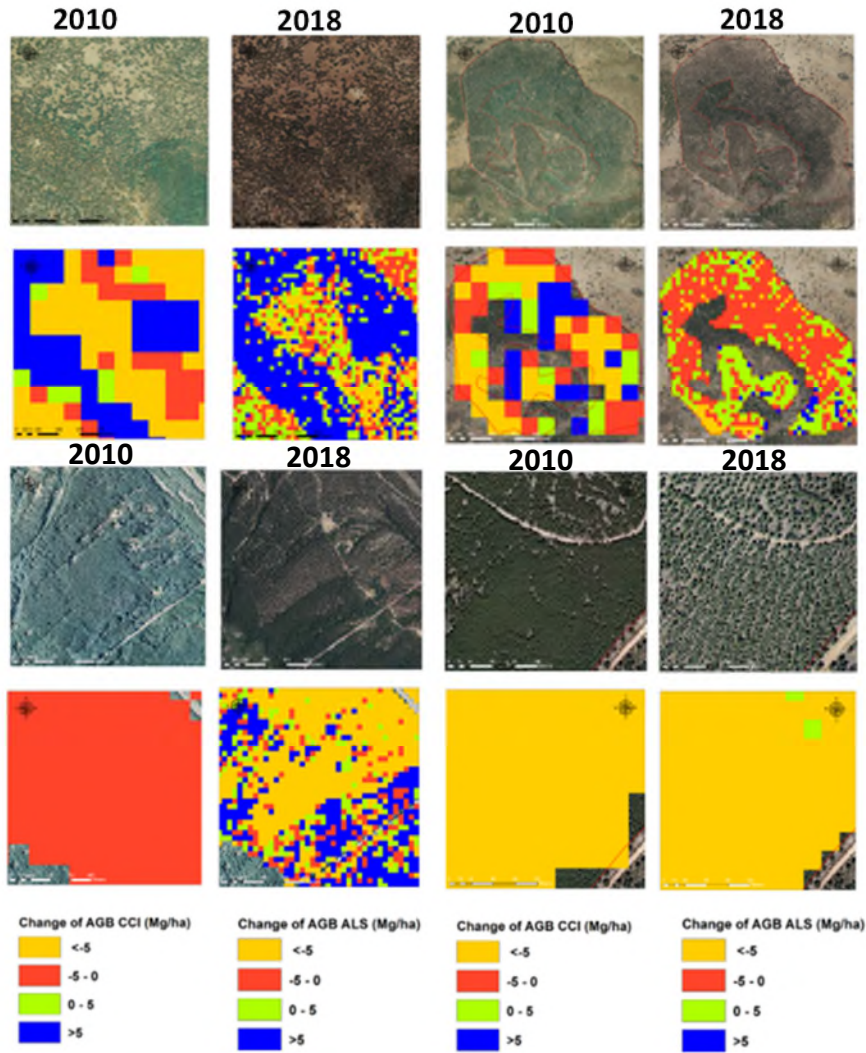
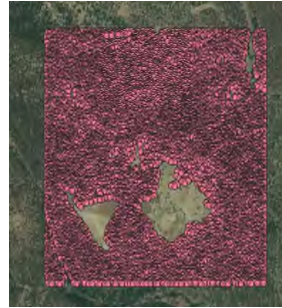
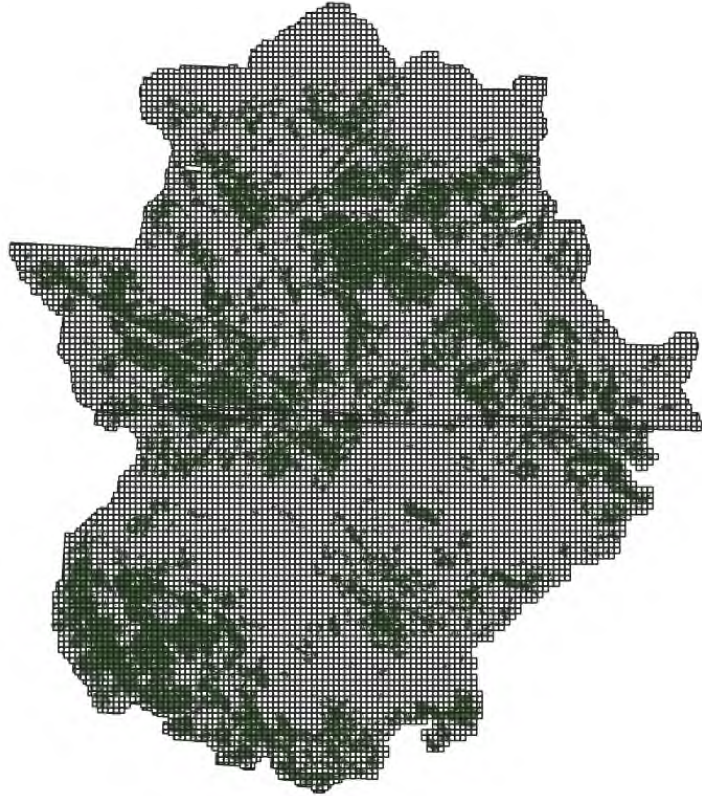


Figure 2. L101 *Dehesa-Montado*; L102 *Encinares (Q.ilex)*; L103, *P.pinaster*; L104, Mixed forest *Quercus ilex* ; L107, *Eucalyptus* spp L108; *Q. suber*, L109, *P.pinea* ; L115, Mixed forest conifers forest

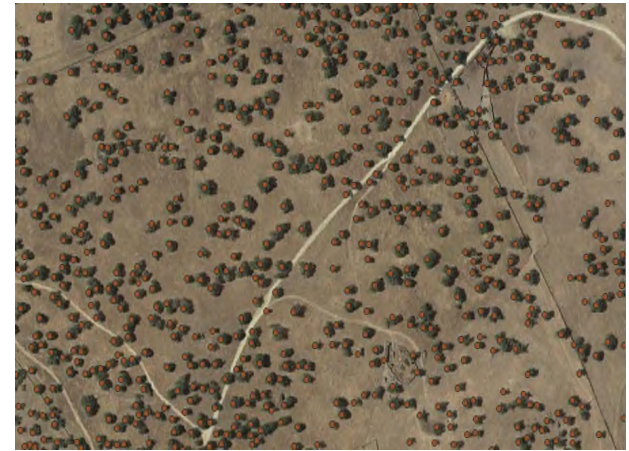
Guerra-Hernández, J., Pascual, A.,....., Jurado-Varela, A., & Sandoval-Altellarrea, V. (2024). Using bi-temporal ALS and NFI-based time-series data to account for large-scale aboveground carbon dynamics: the showcase of mediterranean forests. *European Journal of Remote Sensing*, 57(1), 2315413.

Aplicación de algoritmos detección de arbol individual

Aplicación algoritmos estrato dehesas del MFE y tiles PNOA-LiDAR 2x2 km .laz

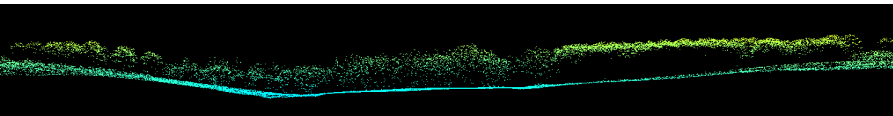


Aplicación algoritmos de *tree_detection*



Información espacialmente explícita de las alturas a escala de árbol a nivel regional

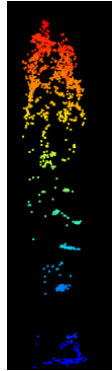
Extensión del cuarto inventario forestal nacional mediante técnicas LiDAR para la gestión sostenible de los montes de Extremadura” Servicio de Ordenación y Gestión Forestal (FEADER nº 1952SE1FR435).



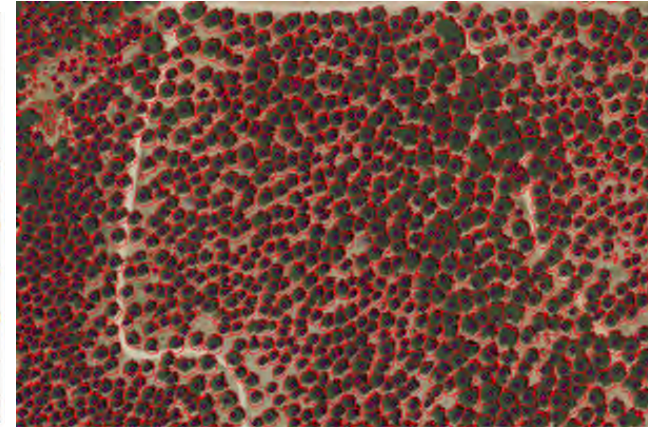
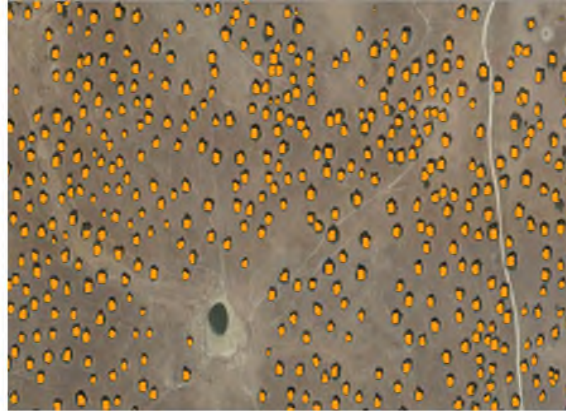
Aplicación de algoritmos segmentación árbol individual

Feature	Value
(Actions)	
treeID	1290
zmax	8.2200000000000002
zmean	4.369685393258427
zsd	3.103829136116401
zskew	-0.503765759928216
zkurt	1.548300541096615
zentropy	0.771873190142927
pzbvzmn	61.797752808988761
pzabov2	68.988764044943821
zq5	0
zq10	0
zq15	0
zq20	0
zq25	0.02
zq30	0.13
zq35	4.0080000000000000
zq40	4.5600000000000002
zq45	5.2860000000000002
zq50	5.5000000000000000

Mode Top Down, Stop at First



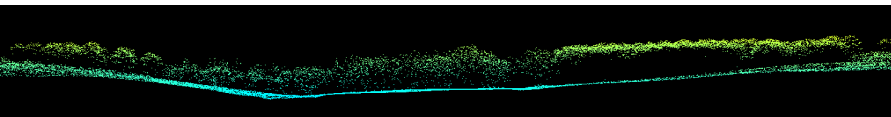
Aplicación algoritmos de segmentación de copas estrato MFE Dehesas



estrato MFE P.pinea

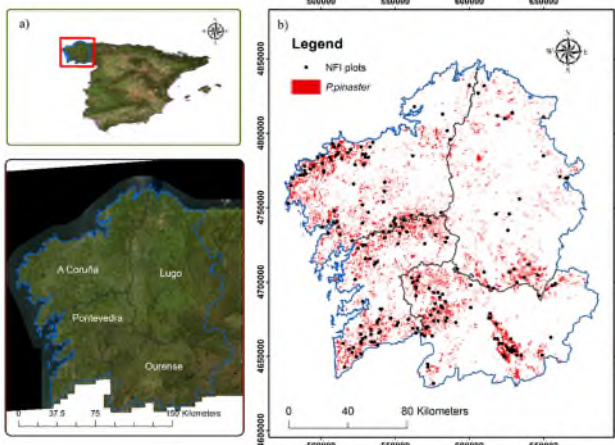
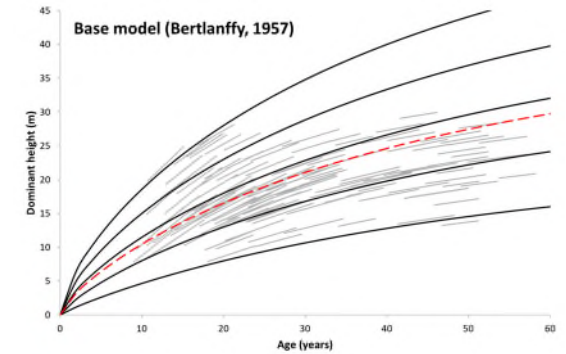
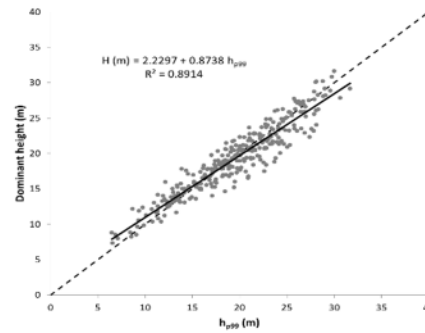


Usar información de inventario LiDAR a nivel de árbol en terrenos adhesionados como información auxiliar (ground truth) para el próximo ciclo IFN5?

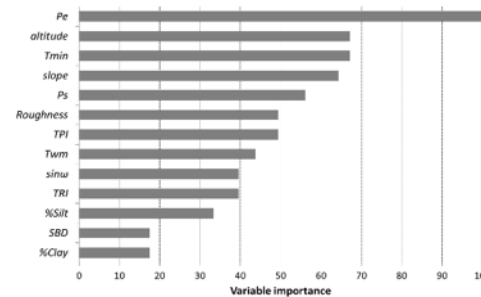


Multitemporal IFN-PNOA-LiDAR(GALICIA)

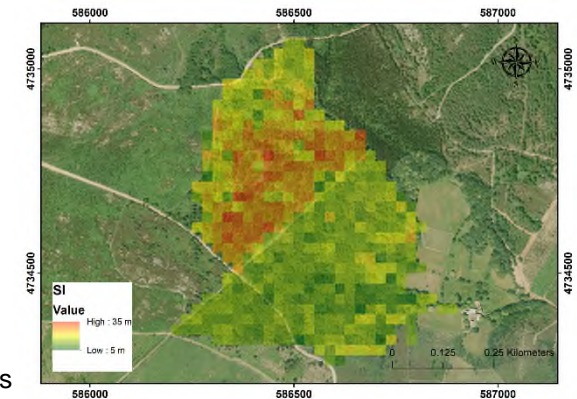
Metodología que permitió desarrollar **mapas predictivos de índice de sitio (IS)** para rodales de *P. pinaster* en Galicia usando parcelas IFN4-IFNN y datos multitemporales LiDAR-PNOA



Ajuste de una relación para estimar las alturas dominantes de cada parcela IFN4-IFNN para las dos fechas de adquisición de LiDAR.



Modelos GADA para derivar incrementos en altura dominante



Ajuste parámetro específico de sitio con variables ambientales usando modelos Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS)

Guerra-Hernández, J., Arellano-Pérez, S., González-Ferreiro, E., Pascual, A., Altelarrea, V. S., Ruiz-González, A. D., & Álvarez-González, J. G. (2021). Developing a site index model for *P. Pinaster* stands in NW Spain by combining bi-temporal ALS data and environmental data. *Forest Ecology and Management*, 481, 118690.

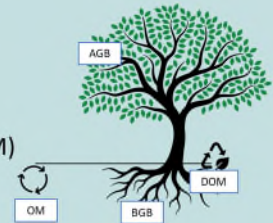
Expansión IFN-PNOA-LiDAR(LEON)

- ❑ La estimación de **existencias de biomasa total se expresa con frecuencia en relación con la biomasa aérea (AGB) únicamente** (árboles), y esto excluye una gran parte del stock de C de los ecosistemas forestales.
- ❑ Para una **evaluación integrada de la biomasa forestal**, debemos comenzar a informar de forma espacialmente explícita sobre los otros componentes del ecosistema.
- ❑ Desde la óptica de los **proyectos de compensación de carbono**, es ilógico ignorar los componentes de la biomasa que añaden incrementos significativos a las estimativas del stock de carbono de nuestros bosques (Grassi et al., 2017; FAO 2020; Gifford, 2020; Espejo et al., 2020, López-Senespleda et 2021).

Calculo das componentes de carbono ao nível da Floresta:

Quatro reservatórios:

- Biomassa acima do solo (AGB)
- Biomassa abaixo do solo (BGB)
- Matéria orgânica em decomposição (DOM)
- Matéria orgânica do solo (OM)



Fuente: Curso Carbono ISA (U Lisboa)

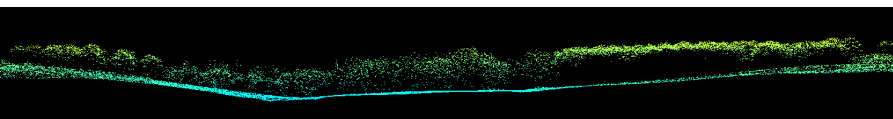
Grassi, G., House, J., Dentener, F., Federici, S., den Elzen, M., & Penman, J. (2017). The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change*, 7(3), 220–226. <https://doi.org/10.1038/nclimate3227>

FAO. 2020. GSOC seq Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map Technical Manual. G. Peralta, L. Di Paolo, C. Omuto, K. Viatkin, I. Luotto, Y. Yigini, 1st Edition, Rome. Available at <https://fao-gsp.github.io/GSOCseq/>

Espejo, A., et al. (2020). Integration of remote sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and guidance from the global forest observations initiative, edition 3.0. UN Food and Agriculture Organization.

Gifford, L. (2020). You can't value what you can't measure: A critical look at forest carbon accounting. *Climatic Change*, 161(2), 291–306. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02653-1>

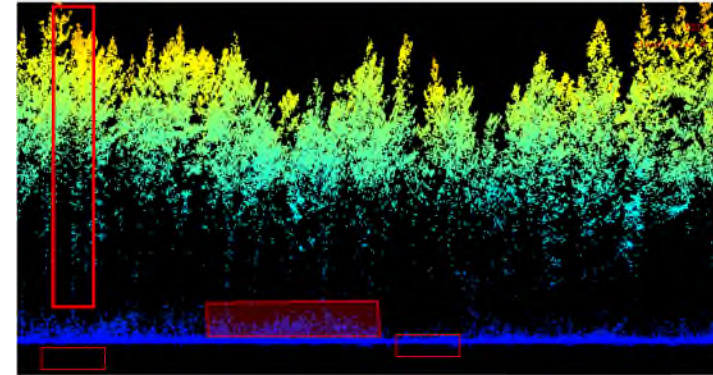
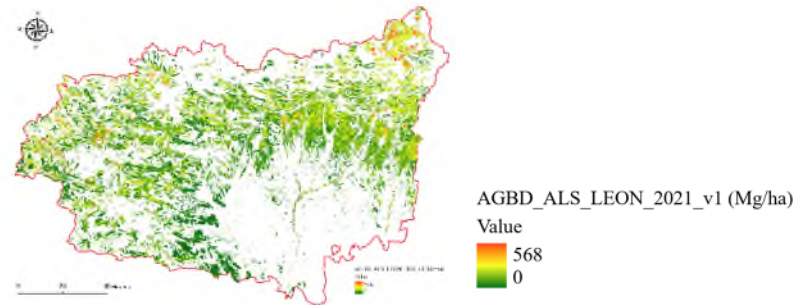
López-Senespleda, E., Calama, R., & Ruiz-Peinado, R. (2021). Estimating forest floor carbon stocks in woodland formations in Spain. *Science of The Total Environment*, 788, 147734.



Expansión IFN-PNOA-LiDAR(LEON)

Aboveground biomass AGB (Tree components; Ws-Stem biomass; Wcw-Crown biomass; Wf-Foliar biomass)-Biomasa aérea encima del suelo (AGB)

Aboveground Biomass Density (AGBD. Mg biomass per ha)



canopy (2.5-40m)

Shrubs (0.2-2.5m)
Soil Organic (-0.20-0.2m)
Root biomass trees

FT code	Selected predictors		Parameter values			fitting statistics		
	h_1	h_2	a	b	c	RMSE	RMSE (%)	BIAS (%)
102	h_{50}	FC_{ALS}	0.0096	1.0555***	1.5165***	21.07	27.50	-0.47
103	h_{20}	FC_{ALS}	0.1002	1.1347***	1.0145***	22.39	33.65	-0.98
104	h_{30}	FC_{ALS}	0.01492**	2.08907*	1.05231	26.27	87.80	-0.09
107	h_{30}	FC_{ALS}	0.000126	1.667***	2.2279**	33.96	67.49	0.99
110	h_{30}	FC_{ALS}	0.0164	1.7494***	1.1383***	33.30	51.60	-2.05
112	h_{50}	h_{70}	3.7190***	-1.8640***	3.2220***	32.00	27.42	-0.65

• h_p represent the p height percentile distribution of ALS echoes in the plots and FC_{ALS} is the proportion of ALS echoes classified as first and ranging at least 2 m aboveground over the total number of ALS echoes classified as first ranging with each NFI plot.
 • Significance level at $p < 0.01$, ** significance level at $p < 0.005$, *** significance level at $p < 0.001$

Desarrollo de modelos LiDAR de masa para cada tipo de bosque usando ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea a nivel de parcela IFN

Ruiz-Peinado, R., del Rio, M., Montero, G., 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems* 20, 176–188. <https://doi.org/10.5424/fs/2011201-11643>

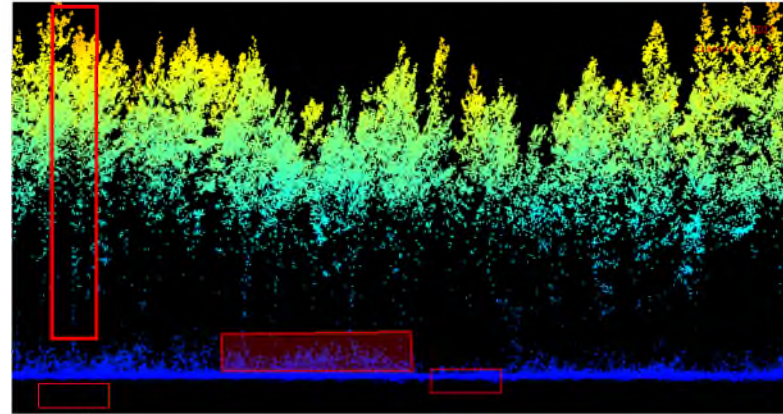
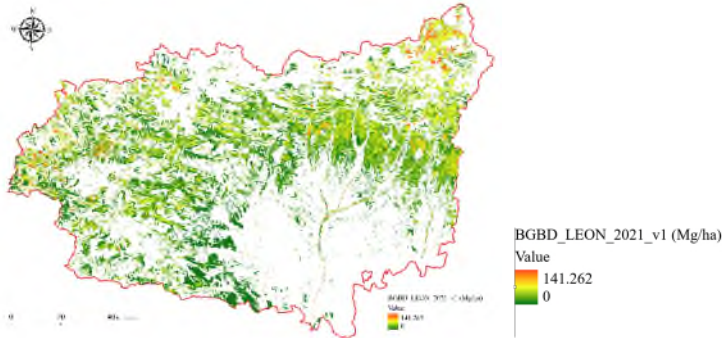
Ruiz-Peinado, R., González, G.M., Del Rio, M., 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest systems* 21, 42–52. <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02193>

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Munoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles (Vol. 13, p. 270)*. Madrid: INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(LEON)

Root biomass (Root component Wr)-Biomassa abajo del suelo (BGB)

Root Biomass Density (RBD. Mg biomass per ha)



canopy (2.5-40m)

Shrubs (0.2-2.5m)

Soil Organic (-0.20-0.2m)

Root biomass trees

FT code	Selected predictors	Parameter values					Fitting statistics		
	h_1	h_2	a	b	c	RMSE	RMSE (%)	BIAS (
102	h_{50}	FC_{ALS}	0.0048	1.0554***	1.5164***	10.49	27.53	-0.48	
103	h_{20}	FC_{ALS}	0.0501	1.1347***	1.0145**	11.18	33.65	-0.98	
104	h_{30}	FC_{ALS}	0.0075	2.0891*	1.0522	13.00	87.80	-0.10	
107	h_{30}	FC_{ALS}	0.0001	1.794***	4.048**	33.89	85.20	10.30	
110	h_{30}	FC_{ALS}	0.0316	1.1946***	1.0392**	29.32	106.82	-0.82	
112	h_{50}	h_{70}	1.0183**	-4.9167***	6.0276***	8.49	34.82	0.12	

Desarrollar modelos LiDAR de masa para cada tipo de bosque usando ecuaciones alométricas para estimar biomasa de raíces a nivel de parcela IFN

Ruiz-Peinado, R., del Río, M., Montero, G., 2011. New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems* 20, 176–188. <https://doi.org/10.5424/fs/2011201-11643>

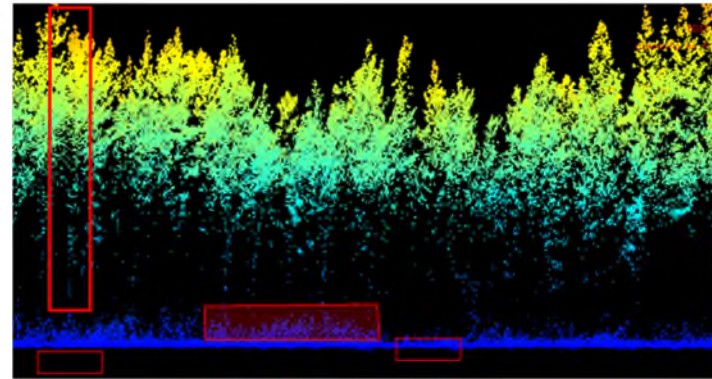
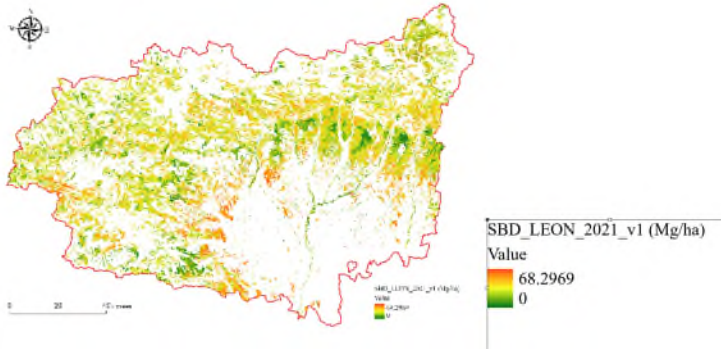
Ruiz-Peinado, R., González, G.M., Del Rio, M., 2012. Biomass models to estimate carbon stocks for hardwood tree species. *Forest systems* 21, 42–52. <https://doi.org/10.5424/fs/2112211-02193>

Montero, G., Ruiz-Peinado, R., & Munoz, M. (2005). *Producción de biomasa y fijación de CO2 por los bosques españoles (Vol. 13, p. 270)*. Madrid: INIA-Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(LEON)

Shrub biomass (SBD)/Biomasa matorral

Shrubs Biomass Density (SBD. Mg biomass per ha)



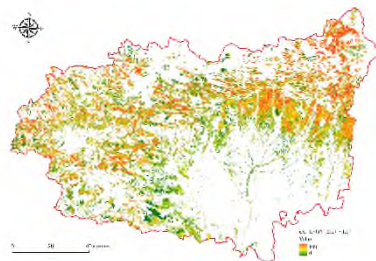
Hm (dm)	Altura media (dm)						
Fcc (%)	5	10	15	20	25	30	35
10	2,61	4,90	7,10	9,22	11,30	13,35	15,36
20	3,64	6,84	9,90	12,87	15,77	18,62	21,43
30	4,46	8,38	12,13	15,77	19,33	22,83	26,27
40	5,19	9,76	14,12	18,36	22,50	26,57	30,58
50	5,88	11,06	16,01	20,81	25,50	30,11	34,66
60	6,56	12,35	17,87	23,23	28,46	33,61	38,68
70	7,27	13,67	19,79	25,72	31,53	37,23	42,85
80	8,04	15,13	21,89	28,45	34,87	41,18	47,39
90	8,97	16,88	24,43	31,76	38,93	45,97	52,90
100	11,06	20,81	30,11	39,14	47,97	56,65	65,20

Hm (dm)	Altura media (dm)						
Fcc (%)	5	10	15	20	25	30	35
10	0,20	0,37	0,53	0,70	0,89	1,09	1,31
20	0,37	0,53	0,70	0,89	1,09	1,31	1,58
30	0,53	0,70	0,89	1,09	1,31	1,58	1,93
40	0,70	0,89	1,09	1,31	1,58	1,93	2,84
50	0,89	1,09	1,31	1,58	1,93	2,84	3,84
60	1,09	1,31	1,58	1,93	2,84	3,84	4,58
70	1,31	1,58	1,93	2,84	3,84	4,58	5,19
80	1,58	1,93	2,84	3,84	4,58	5,19	5,72
90	1,93	2,84	3,84	4,58	5,19	5,72	6,19
100	2,84	3,84	4,58	5,19	5,72	6,19	6,62

$W (t ha^{-1}) = a_1 + Hm [\arccos(\text{FCC}/100)]^{a_2}$

	value	Std. Error	t-value	p-value
a ₁	1,6893814	0,08596185	19,65269	0,00001
a ₂	0,91116759	0,01986898	45,88439	0,00001

CC LEON_2021_v1.tif
Value
100
0



Usar ecuación general que nos permite estimar carga biomasa de matorral (Mg/ha)

Fración Cobida Cubierta (%) → Estimación directa cobertura LiDAR
Altura media (dm)

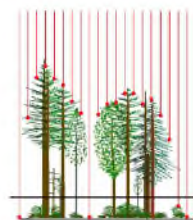


Figure 4. Schematic of the cover calculation process.

Forest Cover (%) = (number of first returns > heightbreak) / (total number of first returns) * 100

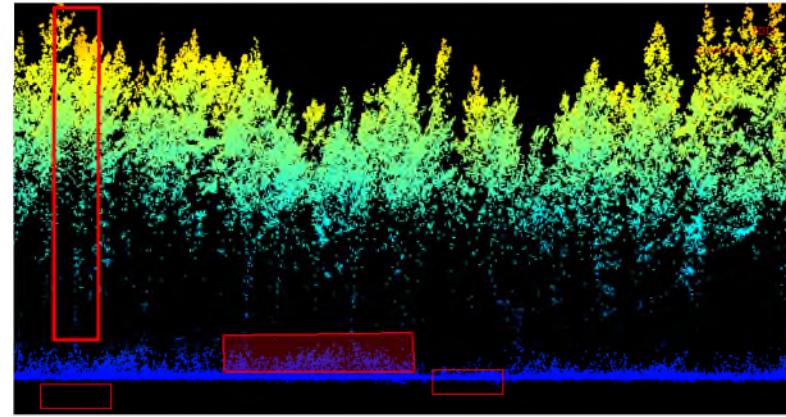
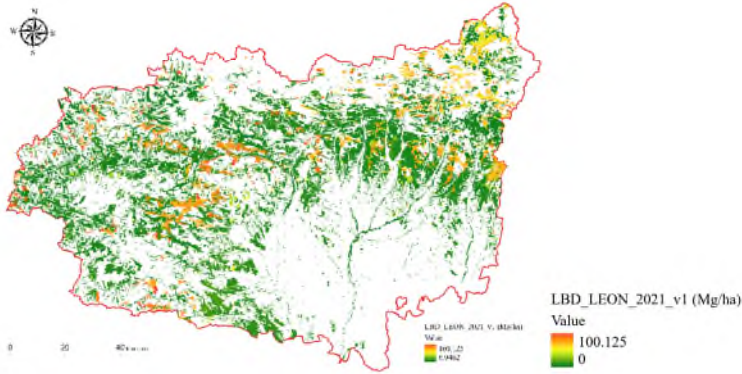
Mean shrubs height (m) = mean height all returns between 0 and 3 meters ($z[z \geq 0.2 \& z \leq 3]$)

Shrub cover (%) = (number all returns between 0.2 and 3 meters) / (number of total returns) * 100

Montero, G., C. López-Leiva, R. Ruiz-Peinado, E. López-Senespleda, R. Onrubia, and M. Pasalodos. 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: Madrid, Spain

Expansión IFN-PNOA-LiDAR(LEON)

Litter biomass (soil organic carbon from the organic-upper layer- “necromasa”)

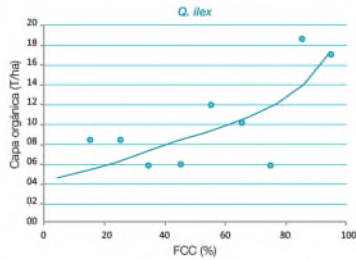


Quercus ilex L.:

Necromasa (t ha⁻¹) = a₁ * g^(FCC) + a₂ * arcoseno(g(FCC/100))

Necromasa de <i>Q. ilex</i>									
Fcc	FccBliss	n	\bar{x}	sd	$\bar{x}_{(1)}$ a ₁ rec	C (%)		$\bar{x}_{(2)}$ estm	
						\bar{x}	sd		
15	0,3977	29	8,4	4,3	8,6	38,2	5,8	5,6	
25	0,5236	15	8,4	5,1	8,4	38,7	5,6	6,5	
35	0,6331	6	5,8	6,4	5,8	36,6	3,6	7,3	
45	0,7353	13	6,0	3,1	6,0	39,5	4,3	8,3	
55	0,8355	14	12,1	7,7	11,8	34,5	5,3	9,3	
65	0,9377	16	10,1	10,9	8,6	36,8	6,5	10,5	
75	1,0472	5	5,8	2,4	5,8	35,4	7,0	11,9	
85	1,1731	3	18,7	8,5	18,7	28,1	0,9	13,8	
95	1,3453	2	17,0	9,9	17,0	35,7	5,9	16,8	

	value	Std. Error	t-value	p-value
a ₁	3,507	1,5833	2,2150	0,0623
b ₁	1,166	0,4202	2,7730	0,0276



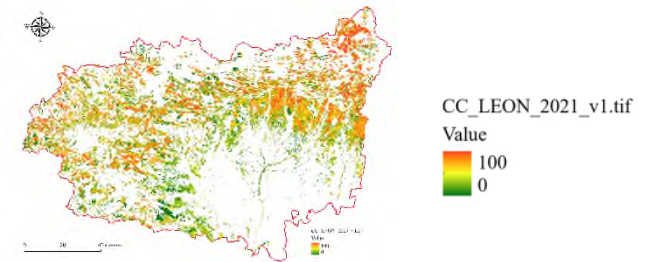
(1) Media recortada al 10%
(2) Media estimada por la ecuación.

Usar ecuación por tipo de bosque que nos permite estimar carga de litter (Mg/ha)



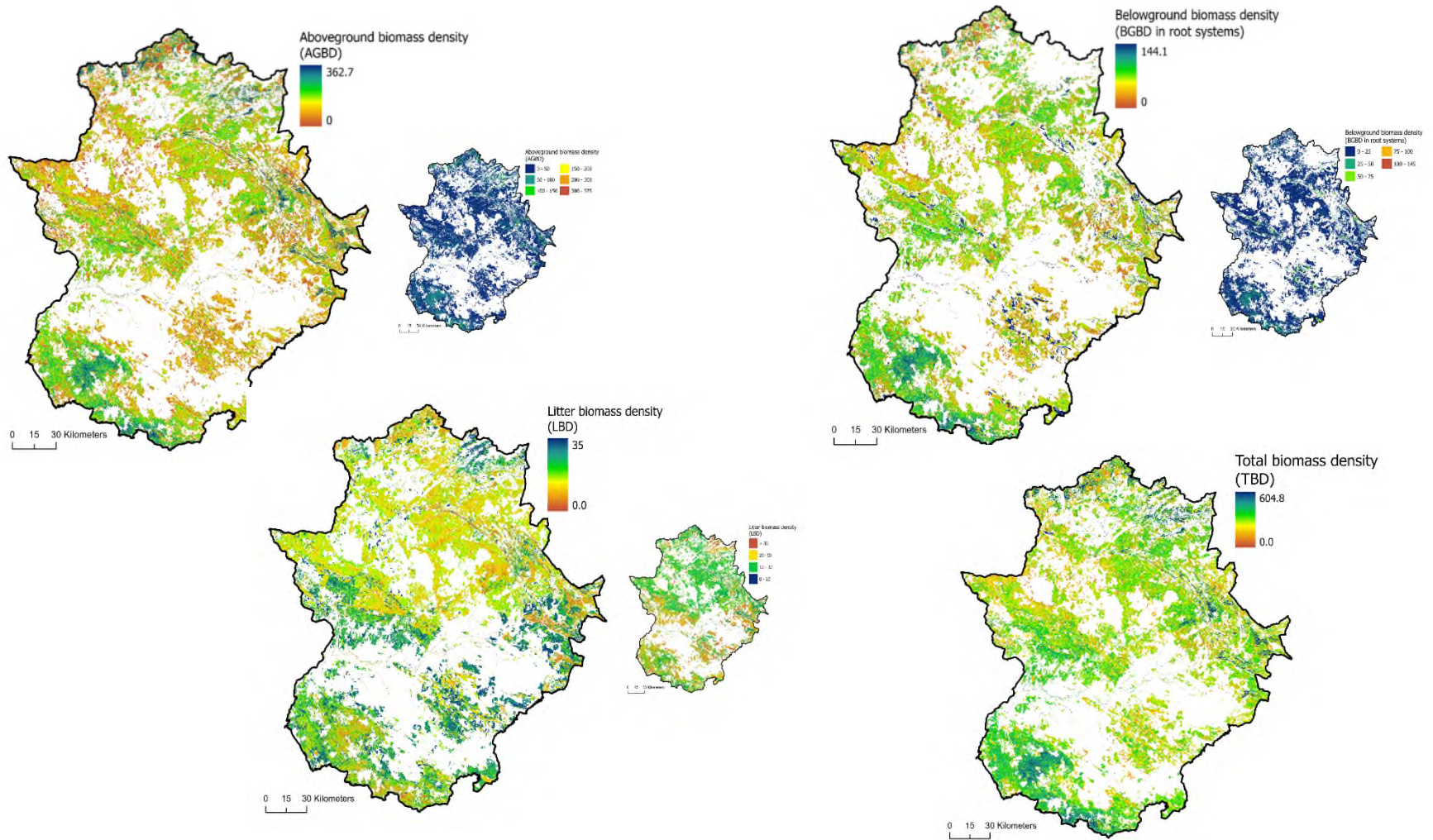
Estimación directa cobertura LiDAR

Forest cover (CC%)



Montero, G., C. López-Leiva, R. Ruiz-Peinado, E. López-Senespleda, R. Onrubia, and M. Pasalodos. 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: Madrid, Spain

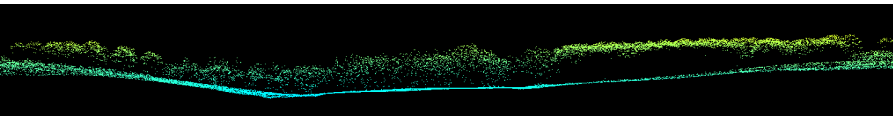
Expansión IFN-PNOA-LiDAR



Biomass maps for aboveground density (AGBD, a), root biomass (RBD, b), shrubs (SBD, c) and litter (LBD, d) derived from airborne lidar data and either NFI-calibrated allometries (a and b) or using Montero et al., (2020) models at Regional level. In Pascual, A., Godinho, S., & Guerra-Hernández, J. (2023). Integrated LiDAR-supported valuation of biomass and litter in forest ecosystems. A showcase in Spain. *Science of The Total Environment*, 897, 165364.

Puntos de partida para la posterior discusión Mesa redonda. Grupo expertos próximo ciclo IFN5-PNOA LiDAR

- 1) Discutir importancia **coincidencia temporal IFN-cobertura LiDAR**.
- 2) Importancia **fenología-época del vuelo LiDAR** con el **desarrollo de modelos LiDAR de masa** (i.e como superar la limitación de desarrollar modelos leaf-on leaf-off para las masas caducifolias).
- 3) Limitaciones **desarrollo de modelos-LiDAR a nivel regional-estratos MFE** (i.e estratos minoritarios como masas mixtas, madroñales y castaños en Extremadura)
 - Necesidad agrupación de distintos estratos del MFE que engloban diferentes formaciones forestales en un solo estrato para tener un número mínimo de parcelas.
 - No se disponen de suficientes parcelas corregidas del IFN4 para determinados estratos
- 4) **Criterios en la revisita las parcelas** para corregir el **posicionamiento**.
- 5) **Integración de información de inventario a nivel de árbol** obtenida mediante **tecnología LiDAR en el nuevo ciclo IFN5** en estratos donde metodologías son precisas y mediante relaciones alométricas estimar variables de interés para la gestión forestal (i.e V, g, AGB)



Puntos de partida para la posterior discusión Mesa redonda. Grupo expertos próximo ciclo IFN5-PNOA LiDAR

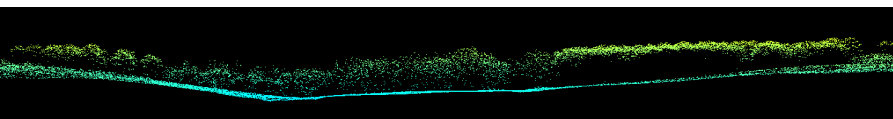
6) **Uso centros de supercomputación para tratamiento de datos coberturas LiDAR-PNOA completas a escala nacional (i.e mapas de incerteza mediante métodos de inventario basado en modelos a escala regional).**

7) **Integración cálculo otros componentes de la biomasa (biomasa de matorral y biomasa de necromasa/litter (horizonte orgánico-suelo) (Montero et al., 2020) en el cálculo de las parcelas del IFN5 apoyadas por cobertura LiDAR-PNOA**

8) **Discutir futuro disponibilización de coordenadas parcelas corregidas (Päivinen et al., 2023 con las respuestas de Gessler, A. et al., 2024)**

Päivinen, R., Astrup, R., Birdsey, R. A., Breidenbach, J., Fridman, J., Kangas, A., ... & Wernick, I. K. (2023). *Ensure forest-data integrity for climate change studies. Nature Climate Change, 13(6), 495-496.*

Gessler, A., Schaub, M., Bose, A., Trotsiuk, V., Valbuena, R., Chirici, G., & Buchmann, N. (2024). *Finding the balance between open access to forest data while safeguarding the integrity of National Forest Inventory-derived information. New Phytologist.*



Muchas gracias!!
Muito Obrigado!!
Thank you!!

Juan Guerra Hernández– Centro de Estudos Florestais, ISA Universidade de Lisboa
(Portugal) [juanguerra@isa.ulisboa.pt]

**Seminario: Las nuevas tecnologías aplicadas al conocimiento de los ecosistemas forestales-
IFN5. Valsain (Segovia), 5- 7 de Junio 2024**

