



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-2053

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

Organiza





Re-calibración de los modelos de biomasa aérea GEDI L4A usando los valores de campo del cuarto inventario forestal nacional (IFN4)

GUERRA HERNÁNDEZ, J.¹, PEREZ-CRUZADO, C.², PASALODOS-TATO, M.³, PASCUAL, A⁴

(1) Forest Research Centre, School of Agriculture, University of Lisbon, Instituto Superior de Agronomia (ISA), Tapada da Ajuda, 1349-017, Lisboa, Portugal.

(2) Proyectos y Planificación (PROePLA), Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Santiago de Compostela, Lugo, España

(3) Área de Inventario y Estadísticas Forestales, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gran Vía de San Francisco, 4 - 5ª pl. 28005 Madrid, España

(4) Department of Geographical Sciences, University of Maryland, College Park, MD, USA;

Resumen

La misión GEDI (The Global Ecosystem Dynamics Investigation) puede mejorar significativamente la resolución espacio-temporal de las estimaciones de las variables de interés para la gestión forestal provistas por el Inventario Forestal Nacional (IFN), así como preservar el rigor muestral de los métodos de inventario basados en diseño. Los modelos basados en GEDI L4 producen estimaciones de densidad de biomasa aérea (AGBD) a nivel de huella del beam para todo el planeta. Sin embargo, estos modelos globales pueden producir estimaciones sesgadas en determinadas regiones que pueden afectar a las estimaciones de secuestro de carbono de los ecosistemas forestales. El objetivo de este trabajo es desarrollar modelos AGBD que puedan ser utilizados dentro del marco de inferencia híbrida de la misión GEDI. Para ello se están ajustando nuevos modelos a nivel de huella por tipo de formación forestal y regiones bioclimáticas de la Península Ibérica usando los valores de biomasa aérea de las parcelas de campo con geolocalización precisa del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4) y las variables predictoras del producto GEDI L2A dentro del periodo de adquisición de datos de la misión entre abril de 2019 y marzo 2023.

Palabras clave

AGBD; full-waveform, Spaceborne LiDAR, Iberian Peninsula

1. Introducción

Las mediciones precisas de la biomasa aérea forestal (AGB, por sus siglas en inglés) son un requisito previo para monitorizar el intercambio de carbono terrestre, la implementación de políticas de mitigación del cambio climático y para la planificación y gestión forestal (Espejo et al., 2020; Melo et al., 2023). Debido a su capacidad para medir directamente estructuras forestales dimensionales y evitar el problema de la saturación de la señal de otros sensores, ópticos o radar de apertura sintética (SAR), la tecnología LiDAR se ha convertido en la tecnología más precisa para estimar AGB (Saarela et al., 2022). En consecuencia, los productos derivados de las misiones satelitales LiDAR como Ice, Cloud and Land Elevation Satellite (ICESat-2) y Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI), están proporcionando estimaciones de variables estructurales de los bosques a escala



global (Dubayah et al., 2020; Guerra-Hernández et al., 2022b; Dubayah et al., 2022).

Siguiendo las recomendaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se debe utilizar una combinación de parcelas de inventario de campo y datos de Observación de la Tierra (EO) para estimar los cambios temporales y espaciales en las reservas de carbono (Espejo et al., 2020). La misión GEDI (Dubayah et al., 2020) alcanzó un hito importante con el lanzamiento de los modelos de densidad de biomasa aérea (AGBD) GEDI L4A, construidos utilizando parcelas de campo bien georreferenciadas y datos LiDAR aerotransportado (ALS). Los datos de entrenamiento para los modelos L4A se recopilaban en todo el mundo y comprenden seis regiones geográficas y cuatro clases amplias para representar los diferentes tipos de vegetación (PFT). Estas regiones geográficas y PFT se utilizaron para definir estratos de predicción para modelos L4A que estiman AGBD a nivel global (Duncanson et al., 2022). Sin embargo, estos modelos globales presentan ciertas debilidades, como la falta de representatividad de los datos de entrenamiento para algunas regiones del planeta. Esto produce incertidumbre sobre el uso de las estimaciones de GEDI-L4A AGBD a escala regional o local. Mejorar la precisión de los modelos L4A utilizando fuentes de datos AGBD disponibles para la calibración es un ejercicio importante para respaldar mejor las políticas ambientales que regulan la gestión de los ecosistemas forestales (Pascual et al., 2023).

Los diseños de muestreo a largo plazo y a escala nacional, como los Inventarios Forestales Nacionales (IFN), son herramientas utilizadas de forma operacional para cumplir con las políticas ambientales (Álvarez-González et al., 2014; Alberdi et al., 2017; Avitabile et al., 2024). La evaluación de los cambios en las reservas de carbono entre los IFN es crucial para completar los informes y requisitos necesarios para cuantificar las emisiones y captura de gases de efecto invernadero a escala nacional. Sin embargo, los IFN tienen ciertas limitaciones: (i) no están diseñados para proporcionar estimaciones confiables para subpoblaciones geográficas a pequeña escala utilizando inferencia basada en diseño tradicional (Guerra-Hernández et al., 2022a)(ii) los IFN pueden ser ineficientes en términos económicos para generar información a gran escala espacial con alta frecuencia (Hunka et al., 2023) y (iii) los ciclos temporales de IFN no pueden lograr la frecuencia de informe internacional requerida del cambio de existencias de carbono de dos años en el contexto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) siguiendo las directrices del IPCC (McRoberts et al., 2018).

El co-registro espacial y temporal entre los datos de campo de IFN y la fuente de datos GEDI nos ofrece una oportunidad única para mejorar la resolución espacio-temporal de las estimaciones de las variables de interés para la gestión forestal de los Inventarios Forestales Nacionales (IFN). En ese sentido, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), responsable del Inventario Forestal Español, está centrando sus esfuerzos en mejorar la calidad de las mediciones GNSS utilizadas para recopilar nuevos datos de geolocalización y volver a medir la posición de parcelas geolocalizadas previamente con una precisión menor, mejorando el ajuste espacial entre los datos de campo de IFN y

los datos de teledetección (Pascual et al., 2023, 2021, 2020)

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es desarrollar nuevos modelos AGBD-4A que puedan ser utilizados dentro del marco de inferencia híbrida de la misión GEDI. Para ello se están ajustando nuevos modelos a nivel de huella por tipo de formación forestal y regiones bioclimáticas de la Península Ibérica. Los modelos usan los valores de AGB de las parcelas corregidas en posicionamiento del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4) y las variables predictores del producto GEDI L2A y 2B dentro del periodo de adquisición de datos de la misión entre abril de 2019- Marzo 2023

3. Metodología

El flujo de trabajo está representado en la Figura 1. En la Etapa 1 se ha generado la base de datos a nivel de huella de GEDI utilizando datos de AGBD de las parcelas del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4) coincidentes temporalmente dentro del periodo de adquisición de datos GEDI de abril de 2019- Marzo 2023. La etapa 2 se centrará en el ajuste de los modelos mediante la agrupación de formación forestales del Mapa Forestal de España y por regiones bioclimáticas.

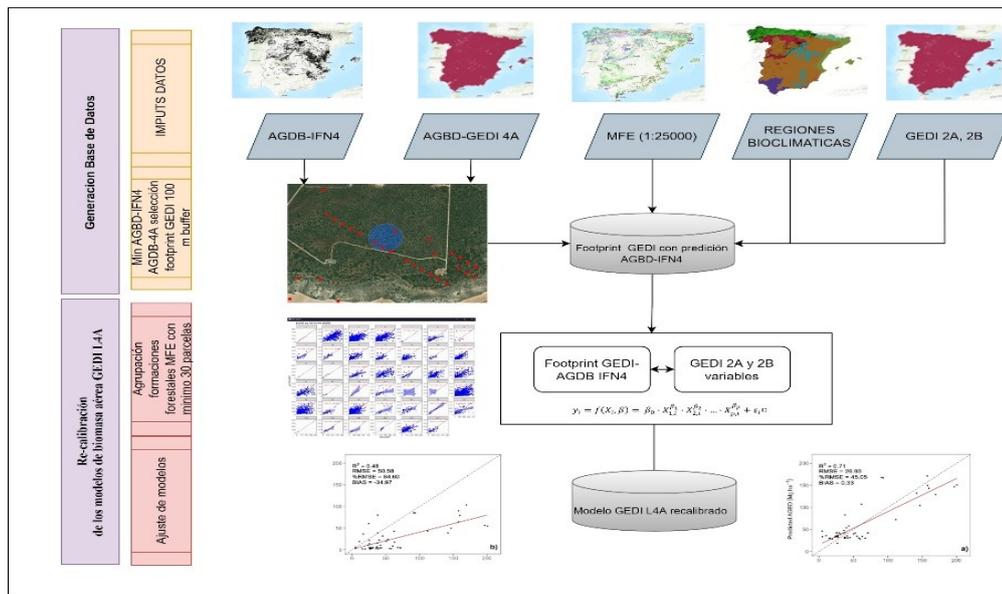


Figura 1. Flujo de trabajo para la re-calibración de los modelos GEDI L4A-AGBD usando las parcelas del IFN4

4. Resultados

Los resultados del análisis de la base de datos generada en la primera etapa del trabajo están representados a modo de ejemplo en la figura 2 para la región bioclimática “Northwest Iberian montane forests”. La figura 2 muestra los resultados de la relación en términos de coeficiente de correlación de Pearson (r), error medio cuadrático (RMSE), relativo (rRMSE(%)), sesgo (bias) y sesgo relativo (rbias) de los valores de biomasa aérea observada en las parcelas del IFN4 y los valores de biomasa aérea asociada de cada huella “footprint” de GEDI del producto

4A en el buffer de 100 m de radio en una determinada región bioclimática. La figura 3 muestra los diagramas de dispersión de forma discriminada usando formaciones forestales del MFE que contenían más de 30 parcelas por tipo de bosque (Figura 2b). En general, observamos la tendencia a la subestimación del producto GEDI-4A respecto a los valores de AGBD observado en campo en ambas figuras.

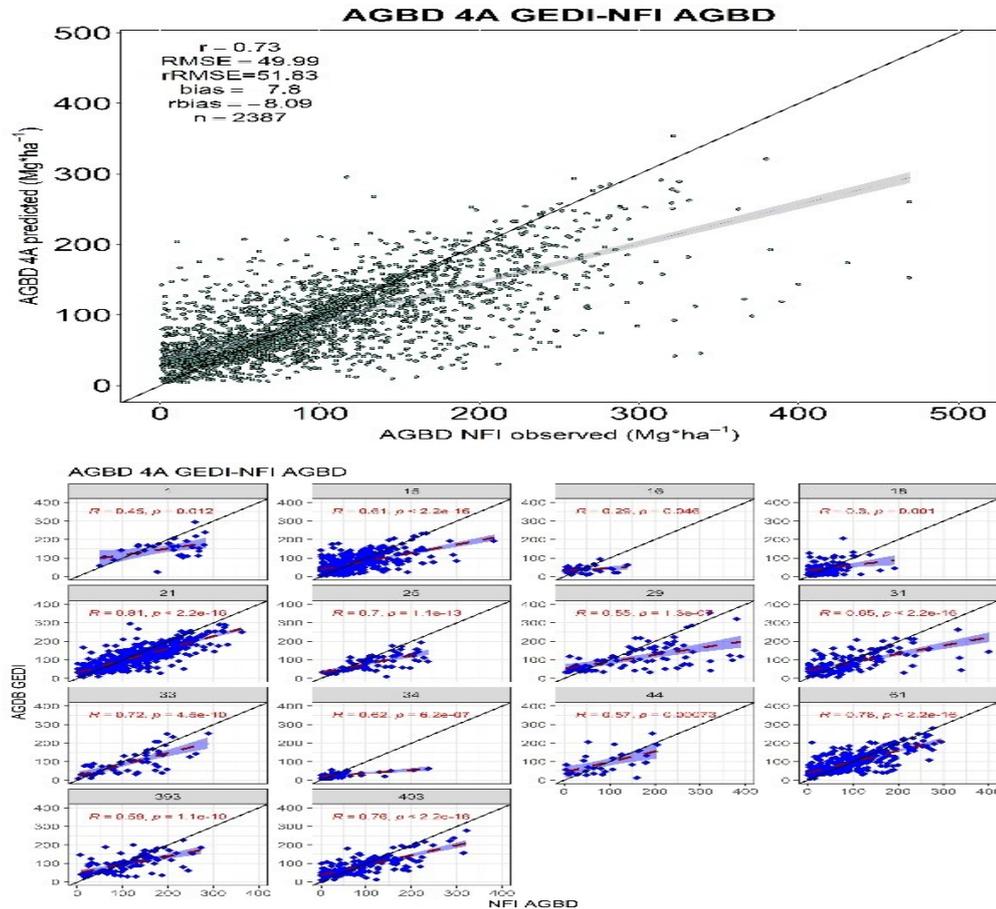
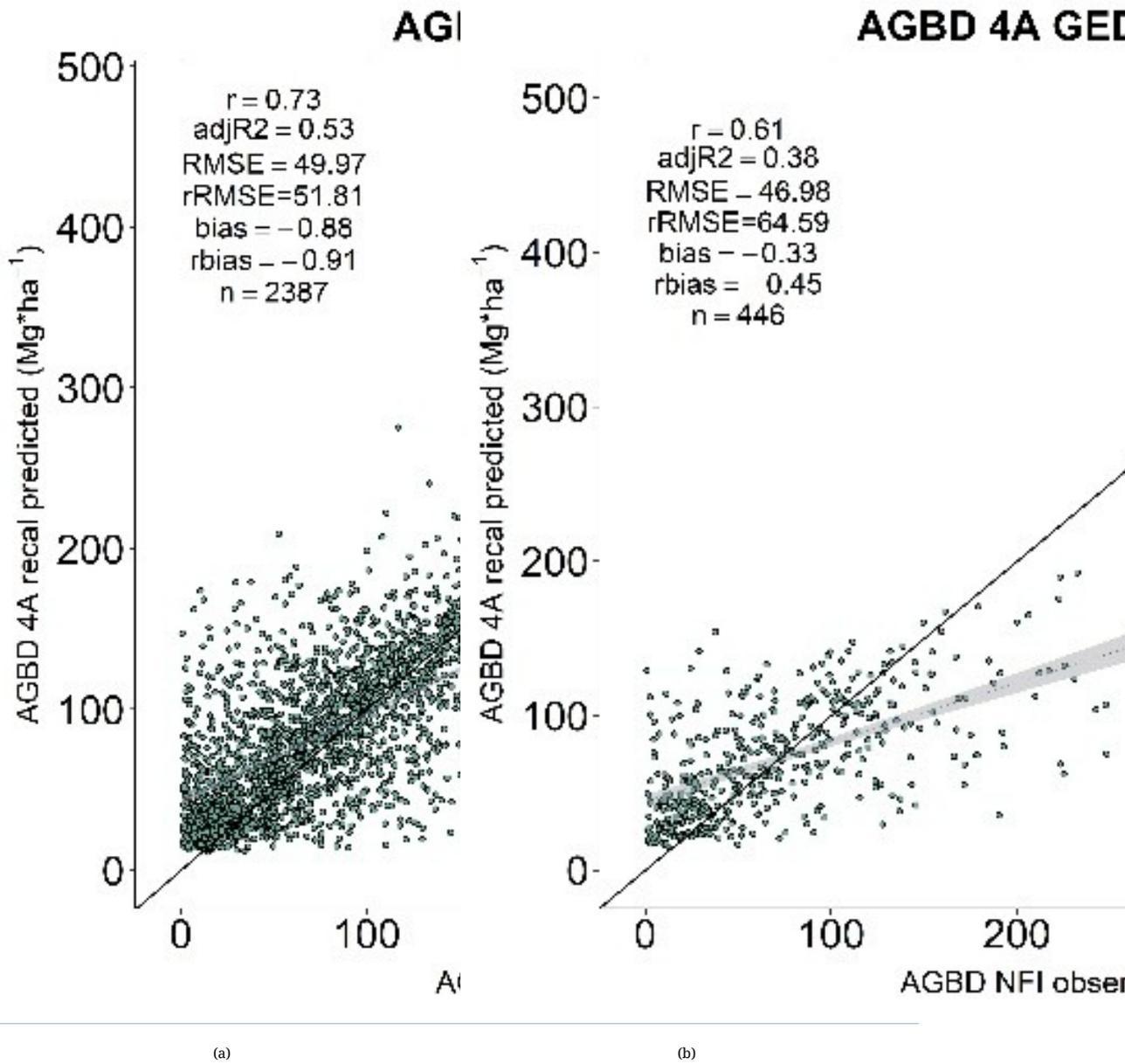
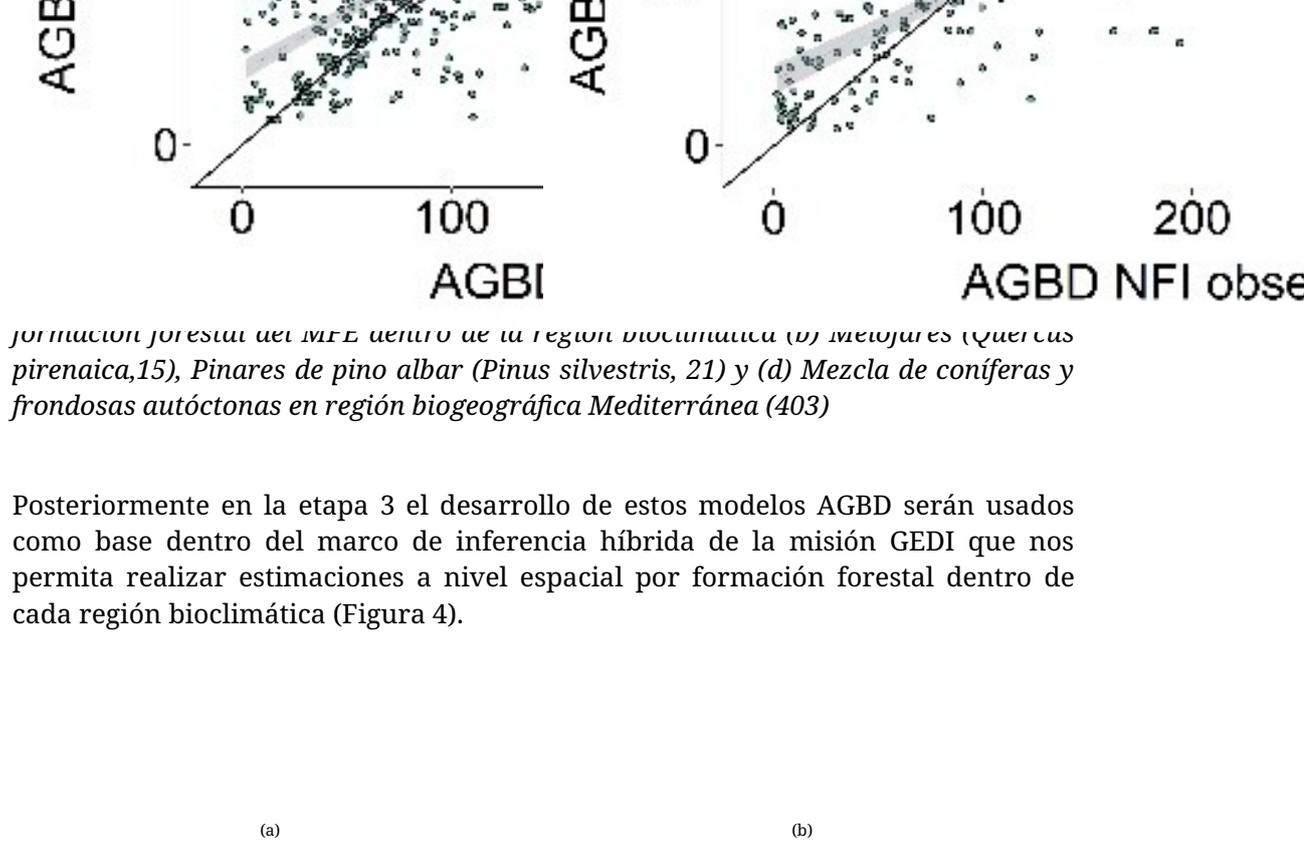


Figura 2. (a) Diagrama de dispersión entre los valores de campo de biomasa aérea observada en en IFN4 y la estimada por el producto GEDI AGBD-4A. (b) Diagrama de dispersión forestal con la codificación numérica asociada a cada formación forestal del MFE dentro de la región bioclimática donde tienen mayor representación los Melojares (*Quercus pyrenaica*) (15), Pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) (21) y Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en región biogeográfica Mediterránea (403).

Los resultados de la etapa 2 con ejemplos del ajuste de nuevos modelos GEDI-L4A recalibrados usando los valores de AGDB del IFN4 para toda la región bioclimática “Northwest Iberian montane forests” y por formaciones: Melojares (*Quercus pyrenaica*) (15), Pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*) (21) y Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en región biogeográfica Mediterránea (403) están representados en la Figura 3a, 3b, 3c y 3d, respectivamente.





Formación forestal del MFE dentro de la región bioclimática (b) mejorares (*Quercus pirenaica*, 15), Pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*, 21) y (d) Mezcla de coníferas y frondosas autóctonas en región biogeográfica Mediterránea (403)

Posteriormente en la etapa 3 el desarrollo de estos modelos AGBD serán usados como base dentro del marco de inferencia híbrida de la misión GEDI que nos permita realizar estimaciones a nivel espacial por formación forestal dentro de cada región bioclimática (Figura 4).

Figura 4. (a) Mapa estimativo de AGBD (Mg/ha) mediante inferencia híbrida de GEDI usando nuevos modelos GEDI-L4A calibrados mediante los valores AGBD IFN4 para toda para una región bioclimática de la Península Ibérica. (b) Mapa estimativas AGBD (Mg/ha) mediante inferencia híbrida de GEDI usando nuevos modelos GEDI-L4A calibrados por formación forestal dentro de la región bioclimática usando los valores AGBD IFN4 para toda para el estrato del MFE Pinares de pino albar (*Pinus sylvestris*, 21).

5. Discusión

Este estudio busca proporcionar un enfoque metodológico que mejore la precisión de la estimación de la Densidad de Biomasa Aérea (AGBD, por sus siglas en inglés) por tipo de formación forestal y regiones bioclimáticas de la Península Ibérica. Los resultados obtenidos muestran que la metodología propuesta mejoró la exactitud de las estimaciones previas del producto GEDI-LA que subestimaron considerablemente la AGBD de campo de las parcelas corregidas en posicionamiento del cuarto Inventario Forestal Nacional (IFN4).

El comportamiento de los modelos en desarrollo para predecir la densidad de biomasa aérea (AGBD) a nivel de huella fueron similares en términos de coeficiente de determinación (R^2) y error medio cuadrático (RMSE) que la del modelo GEDI-L4A (Fig. 3). Sin embargo, en comparación con los nuevos modelos, las estimaciones de GEDI-L4A implicaron una subestimación media más significativa (bias-sesgo medio negativo), especialmente en parcelas con los valores más altos de AGBD. Estos resultados respaldan que los modelos generados para estimar la AGBD a nivel de huella son menos sesgados que el modelo GEDI-L4A. Esto se debe en gran medida a que los modelos continentales incluyeron pocos datos de entrenamiento ubicados en la Península Ibérica, especialmente en bosques abiertos adeshados Mediterráneos de Quercíneas (Duncanson et al.,



2022). Por último, también es importante destacar de los resultados que el comportamiento de los nuevos modelos fue mejor en masa de pinares que en formaciones forestales de frondosas y masas mixtas. En este sentido, los resultados de los modelos por tipo de formación forestal corroboran los valores obtenidos para formaciones caducifolias de frondosas y coníferas de los modelos del producto 4A desarrollados para Europa (Duncanson et al., 2022).

6. Conclusiones

Este estudio destaca las ventajas de ajustar nuevos modelos para la estimación de AGBD a partir de productos GEDI y datos de campo locales del IFN4, cuya combinación nos permitirá realizar estimaciones más precisas de AGBD a nivel espacial usando la inferencia híbrida de la misión GEDI implementada para producir estimaciones espaciales como el producto GEDI-L4B. Los resultados de este estudio aportan nuevas perspectivas para mejorar la precisión de las estimaciones de AGBD en la península Ibérica, cuyo papel en la mitigación del cambio climático puede estar notablemente subestimado cuando se utilizan productos globales a escala nacional. Esta investigación abre el camino para la integración de las estimaciones locales de GEDI AGBD con otros sensores, entre los que destaca la eminente misión NISAR, para derivar productos AGBD desde regionales hasta globales que permitirán el seguimiento de las reservas de carbono a nivel de la Península Ibérica.

Agradecimientos

Esta investigación está financiada por NASA Contract, United States [#NNL15AA03C] GEDI mission (Dr Pascual). T Esta investigación también fue apoyada por el contrato financiado por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) (FCT), Portugal otorgada a Dr. Guerra- Hernández (#CEECIND/02576/2022). Los autores también agradecen al “Centro de Estudos Florestais” unidad de investigación financiado por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal (UIDB/00239/2020)

7. Bibliografía

ALBERDI, I.; BOMBÍN, R.V.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; RUIZ, S.C.; FERREIRO, E.G.; GARCÍA, S.G.; MATEO, L.H.; JÁUREGUI, M.M.; PITA, F.M.; DE OLIVEIRA RODRÍGUEZ, N.; 2017. The multi-objective Spanish national forest inventory. *Forest systems*. 26, 14.

ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.; CAÑELLAS, I.; ALBERDI, I.; GADOW, K.V.; RUIZ-GONZÁLEZ, A.D.; 2014. National Forest Inventory and forest observational studies in Spain: Applications to forest modeling. *Forest Ecology and Management* 316, 54–64.

DUBAYAH, R.; ARMSTON, J.; HEALEY, S.P.; BRUENING, J.M.; PATTERSON, P.L.; 2022. GEDI Launches a New Era of Biomass Inference from Space GEDI Launches a New



Era of Biomass Inference from Space. *Environmental Research Letters*. 17(9), 095001.

DUBAYAH, R.; BLAIR, J.B.; GOETZ, S.; FATOYINBO, L.; HANSEN, M.; HEALEY, S.; HOFTON, M.; HURTT, G.; KELLNER, J.; LUTHCKE, S.; 2020. The Global Ecosystem Dynamics Investigation: High-resolution laser ranging of the Earth's forests and topography. *Science of Remote Sensing*. 1, 100002.

DUNCANSON, L.; KELLNER, J.R.; ARMSTON, J.; DUBAYAH, R.; MINOR, D.M.; HANCOCK, S.; HEALEY, S.P.; PATTERSON, P.L.; SAARELA, S.; MARSELIS, S.; 2022. Aboveground biomass density models for NASA's Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI) lidar mission. *Remote Sensing of Environment* 270, 112845.

ESPEJO, A.; FEDERICI, S.; GREEN, C.; AMUCHASTEGUI, N.; D'ANNUNZIO, R.; BALZTER, H.; BHOLANATH, P.; BRACK, C.; BREWER, C.; BIRIGAZZI, L.; 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. Rome, Italy: UN Food and Agriculture Organization. 300 p.

AVITABILE, V.; PILLI, R.; MIGLIAVACCA, M.; DUVEILLER, G.; CAMIA, A.; BLUJDEA, V.; ADOLT, R.; ALBERDI, I.; ...MUBAREKA, S.; 2024. Harmonised statistics and maps of forest biomass and increment in Europe. *Science Data*. 11, 274.

GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; BOTEQUIM, B.; BUJAN, S.; JURADO-VARELA, A.; MOLINA-VALERO, J.A.; MARTÍNEZ-CALVO, A.; PÉREZ-CRUZADO, C.; 2022a. 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.

GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; NARINE, L.L.; PASCUAL, A.; GONZALEZ-FERREIRO, E.; BOTEQUIM, B.; MALAMBO, L.; NEUENSCHWANDER, A.; POPESCU, S.C.; GODINHO, S.; 2022b. Aboveground biomass mapping by integrating ICESat-2, SENTINEL-1, SENTINEL-2, ALOS2/PALSAR2, and topographic information in Mediterranean forests. *GIScience & Remote Sensing*. 59, 1509–1533.

HUNKA, N.; SANTORO, M.; ARMSTON, J.; DUBAYAH, R.; MCROBERTS, R.E.; NÆSSET, E.; QUEGAN, S.; URBAZAEV, M.; PASCUAL, A.; MAY, P.B.; 2023. On the NASA GEDI and ESA CCI biomass maps: aligning for uptake in the UNFCCC global stocktake. *Environmental Research Letters* 18, 124042.

MCROBERTS, R.E.; NÆSSET, E.; GOBAKKEN, T.; CHIRICI, G.; CONDÉS, S.; HOU, Z.; SAARELA, S.; CHEN, Q.; STÅHL, G.; WALTERS, B.F.; 2018. Assessing components of the model-based mean square error estimator for remote sensing assisted forest applications. *Canadian Journal of Forest Research*. 48, 642–649.



MELO, J.; BAKER, T.; NEMITZ, D.; QUEGAN, S.; ZIV, G.; 2023. Satellite-based global maps are rarely used in forest reference levels submitted to the UNFCCC. *Environmental Research Letters* 18, 034021.

PASCUAL, A.; GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; ARMSTON, J.; MINOR, D.M.; DUNCANSON, L.I.; MAY, P.B.; KELLNER, J.R.; DUBAYAH, R.; 2023. Assessing the performance of NASA's GEDI L4A footprint aboveground biomass density models using National Forest Inventory and airborne laser scanning data in Mediterranean forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 538, 120975.

PASCUAL, A.; GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; COSENZA, D.N.; SANDOVAL-ALTELARREA, V.; 2021. Using enhanced data co-registration to update Spanish National Forest Inventories (NFI) and to reduce training data under LiDAR-assisted inference. *International Journal of Remote Sensing*. 42, 126–147.

PASCUAL, A.; GUERRA-HERNÁNDEZ, J.; COSENZA, D.N.; SANDOVAL-ALTELARREA, V.; 2020. The Role of Improved Ground Positioning and Forest Structural Complexity When Performing Forest Inventory Using Airborne Laser Scanning. *Remote Sensing*. 12, 413.

SAARELA, S.; HOLM, S.; HEALEY, S.P.; PATTERSON, P.L.; YANG, Z.; ANDERSEN, H.-E.; DUBAYAH, R.O.; QI, W.; DUNCANSON, L.I.; ARMSTON, J.D.; 2022. Comparing frameworks for biomass prediction for the Global Ecosystem Dynamics Investigation. *Remote Sensing of Environment*. 278, 113074.