

Epílogo

Geomática y geoinformática forestal: el futuro

Rafael M^a NAVARRO CERRILLO
Pablo GONZÁLEZ MORENO
M^a Ángeles VARO MARTÍNEZ
Antonio J. ARIZA SALAMANCA

La geomática como un paradigma transformador de la ciencia forestal

En la última década, la geomática forestal ha experimentado un crecimiento explosivo gracias al acceso a datos masivos procedentes de bases de datos ya existentes (por ejemplo, el Inventario Forestal Nacional) o de diferentes plataformas espaciales gratuitas o de bajo costo (por ejemplo, el Plan Nacional de Teledetección), así como al aumento de la capacidad de cálculo asociada a la tecnología informática. Esto ha hecho que la geomática ocupe un espacio cada vez más amplio en la ciencia y la tecnología forestal en todos los niveles de la gestión forestal, así como su relación con otras geociencias y con el desarrollo de nuevas tecnologías espaciales. Recientemente se han ido integrando otros enfoques, como la minería de datos, la fotogrametría digital, la teledetección óptica y activa avanzada, la teledetección próxima a la tierra, el uso de drones, la tecnología SLAM (localización y mapeo simultáneo), los métodos de mapeo móvil basados en teléfonos inteligentes, la inteligencia artificial y los procesos de aprendizaje automático (*machine learning*) y aprendizaje profundo (*deep learning*), entre muchos otros. La necesidad de mejorar las capacidades tecnológicas de la ciencia forestal, desde la gestión de la biodiversidad a la producción de bienes y servicios a diferentes escalas espaciales y temporales, ha impulsado el desarrollo en este campo. Lo que inicialmente fue la aplicación de la estadística y de la fotointerpretación al inventario forestal, se ha convertido en un conjunto de disciplinas y sofisticadas herramientas tecnológicas relacionadas con la adquisición, la estructura y el análisis de datos, los sistemas de información geográfica (SIG), la cartografía, la teledetección, el internet de las cosas (IoT) o la inteligencia artificial (AI) en el marco de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), apoyado por un desarrollo acelerado de la informática y de la electrónica.

La geomática forestal está viviendo un momento de fuerte expansión y consolidación en nuestro país, que, sin lugar a duda, se ha convertido en un referente científico y técnico a nivel europeo. La implantación de la geomática en el sector forestal español se ha “universalizado”, promovida, en gran parte, por una mejor integración de estas tecnologías y de la gestión forestal (SIG, bases de datos, teledetección, etcétera), así como por el desarrollo

de plataformas y tecnologías que se adaptan mejor a las necesidades de información de los gestores forestales. El camino que está siguiendo el sector transcurre por la integración de tecnologías. Un ejemplo es el nanosatélite andaluz Platero, construido en colaboración por la Agencia de Gestión Agraria y Pesquera de Andalucía (AGAPA) y las Universidades de Córdoba y de Málaga, que abre un nuevo mundo de posibilidades al llevar un módulo de comunicación IoT que le permite estar en contacto continuo y en tiempo real con distintos dispositivos localizados en la superficie terrestre. Otro ejemplo es el seguido por la NASA para poner a disposición de los usuarios más de 50 años de información de toda la superficie terrestre a través de una arquitectura de datos compleja, empleando para ello la infraestructura de los *Amazon Web Services* (AWS) que posibilita el acceso y consulta espacial y temporal y también su descarga. En otros casos, la integración de datos mediante IA consigue resultados espectaculares, como los obtenidos por Meta y su modelo de copas a 1 metro de resolución para todo el planeta o, también, en la clasificación automática estándar y mejorada de los retornos de las nubes de puntos de la tercera cobertura LiDAR-PNOA.

El libro Geoforest

La demostrada capacidad científica y técnica de la geomática forestal en España ha representado el punto de partida del presente libro. La geomática forestal necesita incorporar conocimientos a su aplicación práctica para poder evolucionar en consonancia con el proceso científico. Partiendo de esta idea, el objetivo principal de este libro es recoger las principales contribuciones técnicas y científicas en el ámbito de las tecnologías geoespaciales aplicadas a la ciencia forestal (Fig. E.1). En este libro se ha intentado mostrar las innovaciones más actuales para responder a las demandas científicas, técnicas y profesionales del sector forestal. Además, dado el dinamismo de este campo, uno de los objetivos del libro es fomentar el intercambio de ideas y experiencias relacionadas con la geomática forestal, como una de las áreas de mayor capacidad de innovación tecnológica del sector.

Por último, cabe destacar la vocación educativa de este libro en la formación forestal, por su posible uso como material docente en másteres especializados en geomática o en la oferta de capacitación no formal (microcredenciales), es decir, en cualquier modalidad que impulse la formación y adquisición de competencias digitales en todos los ámbitos de las ciencias forestales, pero también en su aplicación. Así, este libro resulta un material muy valioso para que los profesionales adquieran competencias digitales orientadas hacia el desarrollo de medidas concretas de gestión forestal, favoreciendo la formación a lo largo de la vida profesional (adquisición de nuevas competencias *-upskilling-* y el reciclaje profesional *-reskilling-*).

Futuras líneas de trabajo

Si en las últimas décadas del siglo pasado la ciencia forestal enfrentó la disyuntiva de adaptar el concepto de la multifuncionalidad y la persistencia de los montes a las

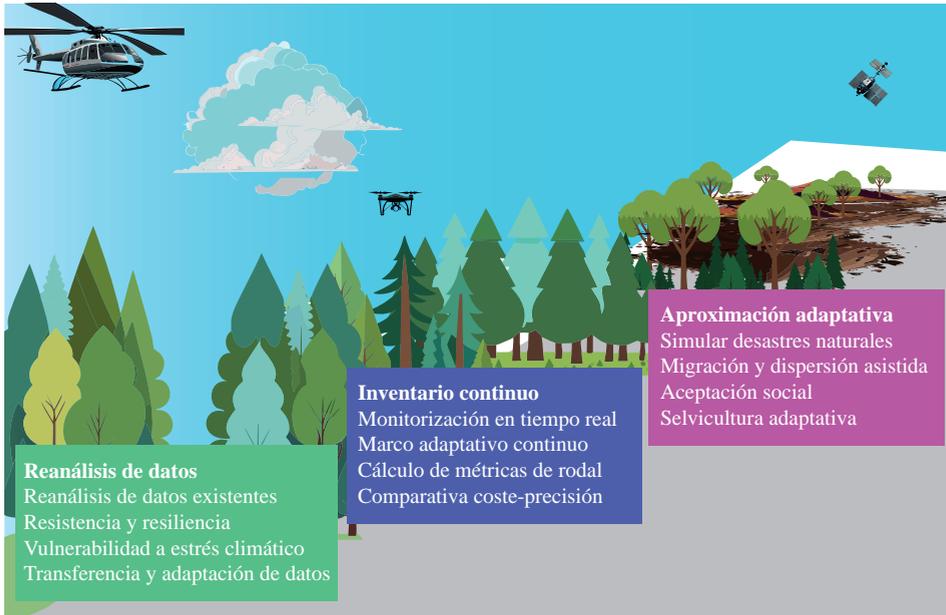


Figura E.1. Desarrollo de herramientas geoinformáticas aplicados a la selvicultura de precisión (basada en Achim *et al.* (2022)).

nuevas demandas que exigía la sociedad, en la actualidad los importantes retos que enfrentan los bosques requieren un profesional forestal con capacidad para integrar, organizar y procesar datos (espaciales) de diferente naturaleza, que le permitan generar alta capacidad analítica (modelización y simulación) y el desarrollo de soluciones a problemas que hoy demanda la gestión forestal. Con este libro, esperamos contribuir a reforzar la base científica y técnica en la que apoyarse para ese cambio. En concreto esperamos que el futuro de la geomática forestal evolucione y se integre en los siguientes aspectos:

- **Uso y desarrollo de herramientas de procesamiento y análisis en la nube.** En los últimos 5 años hemos visto cómo plataformas como Google Earth Engine se han afianzado como una alternativa dinámica y de bajo coste para el procesamiento rápido y efectivo de grandes fuentes de información de teledetección. Recientemente, se han incorporado numerosas herramientas de procesamiento de otra índole, como los modelos de distribución de especies (Crego *et al.* 2022), que aprovechan la alta capacidad de almacenamiento y procesamiento sin necesidad de usar equipos locales.
- **Generación de sistemas de apoyo a la toma de decisiones en tiempo real.** Tradicionalmente, la difusión de la información espacial relevante para la gestión se ha procesado de forma local o, en el mejor de los casos, a través de visores de mapas con servicio estandarizado wms o gfs. Esta tecnología, aunque sigue

teniendo potencialidad para generar consultas sencillas, no es suficiente para ofrecer una información relevante y suficiente para la toma de decisiones. En la actualidad, se ha facilitado enormemente la generación de aplicaciones sencillas que permiten no sólo la generación de visores, sino también la creación de paneles de mando (*dashboard*) con información sintética y con resultados de modelización y teledetección a tiempo real. Entre los entornos para los que esperamos un gran desarrollo están Shiny en R (diveRpine Pérez-Luque y Zamora 2023 y treeTOP Silva *et al.* 2022) o Earth Engine apps (p.e. <https://google.earthengine.app/view/forest-change>).

- **Generación y desarrollo de gemelos digitales forestales.** Estos gemelos digitales o *digital twins* se pueden definir como réplicas digitales de activos físicos, procesos, espacios, sistemas y dispositivos que se pueden emplear para diferentes propósitos. Del mismo modo que la agricultura y el sector forestal adaptaron los métodos y enfoques de la industria 4.0, en determinados ámbitos del sector forestal se investiga cómo desarrollar este nuevo paradigma. Este gemelo proporcionaría una perspectiva integral de un determinado sistema (p.e. plantaciones forestales), ofreciendo información en tiempo real sobre, por ejemplo, el crecimiento de los árboles, la humedad del suelo o, incluso, permitiendo realizar ejercicios de simulación sobre el sistema (claras, podas, etcétera). Este nuevo paradigma permitiría anticiparnos a los problemas y diseñar un sistema de gestión óptimo. Pero para ello, necesitamos que nuestro entorno o “sistema” produzca datos. Aquí es donde pasamos de un sensor tradicional, que solo produce una variable, a tener equipos inteligentes basados en IoT que aportan información en tiempo real de la variable a medir y de todo su entorno. Aunque es opcional, un gemelo digital también debe disponer de una representación 3D del sistema. Este modelo 3D puede desarrollarse a partir de una nube de puntos LiDAR o con imágenes procedentes de sensores ópticos situados sobre cualquier tipo de plataforma. Por tanto, el producto generado para desarrollar el modelo 3D ofrece una nueva fuente de datos mediante el procesado de esta nube de puntos LiDAR o imagen. Finalmente, el último componente de un gemelo digital es la analítica. En este tema, gracias a la inteligencia artificial, estamos pasando de una analítica descriptiva a una analítica predictiva que permite extraer un conocimiento profundo de nuestros datos.
- **Integración de la inteligencia artificial en los procesos geomáticos (GeoIA).** Los algoritmos basados en inteligencia artificial, especialmente las redes neuronales profundas (DNN en sus siglas en inglés), están transformando la aproximación de las ciencias forestales a la geomática. Aun así, la GeoIA debe superar algunas limitaciones, como la alta demanda de recursos computacionales, o el desarrollo de modelos de aprendizaje automático que integran distintos modelos físicos y bases de datos de distintas fuentes asociados a diferentes fenómenos naturales.

Bibliografía

- Achim, A., Moreau, G., Coops, N. C., Axelson, J.N., Barrette, J., Bédard, S., White, J.C. 2022. The changing culture of silviculture. *Forestry*, 95(2), 143-152.
- Crego, R.D., Stabach, J.A., Connette, G. 2022 Implementation of species distribution models in Google Earth Engine. *Divers. Distrib.*, 28: 904–916.
- Pérez-Luque, A.J., Zamora, R. 2023 diveRpine: Diversification of pine plantations in Mediterranean mountains. An interactive R tool to help decision makers. *Ecol. Indic.* 147: 110021.
- Pierdicca, R., Paolanti, M. 2022. GeoAI: a review of artificial intelligence approaches for the interpretation of complex geomatics data. *Geosci. Instrum. Methods Data Syst.* 11(1), 195-218.
- Silva, C.A., Hudak, A.T., Vierling, L.A., Valbuena, R. *et al.* 2022 treetop: A Shiny-based application and R package for extracting forest information from LiDAR data for ecologists and conservationists. *Methods Ecol. Evol.*, 13: 1164–1176.