



2025 | **16-20**
GIJÓN | **JUNIO**

9º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

9CFE-1539

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

Organiza





Simuladores a medida: informando decisiones forestales desde lo local hasta lo nacional

ANTÓN FERNÁNDEZ, C. (1, 2), CATTANEO, N. (1) y MALEKI, K. (2)

(1) NIBIO, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Ås, Noruega.

(2) Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales, Universidad de Valladolid

Resumen

Las simulaciones pueden ser una herramienta poderosa para apoyar la toma de decisiones en la gestión forestal, tanto a nivel de rodal como en políticas nacionales. Sin embargo, no todos los modelos son igualmente útiles para cualquier tipo de decisión. Algunos son útiles para informar decisiones a nivel de rodal, mientras que otros están diseñados para guiar decisiones estratégicas a nivel nacional. En este trabajo, se presentan de forma clara y práctica qué características debe tener cada simulador para cumplir con estos objetivos, utilizando como ejemplo la innovadora constelación de simuladores y modelos que nuestro equipo ha desarrollado para los bosques de Noruega.

Palabras clave

Políticas, toma de decisiones, modelos de crecimiento.

1. Introducción

En un mundo donde los ecosistemas forestales desempeñan un papel clave frente a desafíos globales como el cambio climático y la seguridad de recursos, la planificación estratégica es esencial. En este contexto, los simuladores forestales se han convertido en herramientas indispensables, permitiendo explorar escenarios y evaluar los impactos de diversas estrategias de manejo. La efectividad de estas herramientas, sin embargo, depende de su diseño y de su capacidad para responder a preguntas específicas en distintos contextos.

Los simuladores forestales no son soluciones universales; cada uno posee características particulares que los hacen más adecuados para ciertas escalas o tipos de decisiones. Mientras algunos están diseñados para captar dinámicas locales a nivel de rodal, otros buscan representar patrones y tendencias a escala regional o nacional, un enfoque clave para decisiones precisas y alineadas con los objetivos establecidos.

2. Objetivos

En este trabajo se analizan las características fundamentales que deben tener los simuladores forestales para ser efectivos en diferentes contextos de toma de decisiones. Asimismo, se presenta como caso de estudio la constelación de modelos desarrollados para los bosques de Noruega.

3. Simuladores para decisiones a nivel de rodal

Los simuladores diseñados para decisiones a nivel de rodal son fundamentales para seleccionar estrategias de manejo silvícola, como la edad de rotación, las claras o la densidad de plantación. Tradicionalmente, estos simuladores han utilizado modelos de rodal diseñados para masas homogéneas y, en muchos casos, coetáneas. No obstante, con el avance de tecnologías como el LiDAR, ahora es posible realizar inventarios pie a pie de rodales, lo que abre la posibilidad de usar modelos de árbol individual para simular cada pie del rodal.

Los modelos utilizados en los simuladores de rodal deben ser sensibles al manejo, respondiendo adecuadamente a cambios en densidad, especies o tratamientos específicos. Además, es crucial que los modelos estén calibrados con datos representativos, es decir, recolectados bajo condiciones controladas, en rodales similares y manejados de manera similar a la que se quiere simular. Esto generalmente implica la necesidad de recopilar datos específicos, ya sea mediante el establecimiento de parcelas temporales en rodales semejantes o utilizando datos previamente obtenidos de parcelas de investigación bien documentadas.

Estos simuladores suelen analizar uno o varios rodales de un propietario forestal, evaluando diversas opciones de manejo. Las combinaciones generadas pueden variar desde unas pocas opciones hasta más de cien. Debido a que el número de rodales simulados es limitado, los requisitos computacionales suelen ser modestos al trabajar a nivel de rodal. Sin embargo, si las simulaciones se realizan con modelos de árbol individual y datos de los nuevos inventarios pie a pie, las demandas computacionales pueden aumentar significativamente.

Este tipo de simuladores para decisiones a nivel de rodal son ampliamente utilizados en escandinavia. Por ejemplo, herramientas como Heureka en Suecia (Wikström et al. 2011) y MOTTI (Hynynen et al. 2005) en Finlandia ya están consolidadas y son ampliamente utilizadas tanto en el sector forestal privado como en investigación. En Noruega, aunque no existe un simulador diseñado específicamente para decisiones a nivel de rodal, NIBIO está desarrollando modelos basados en árboles individuales, que se integrarán en el marco de simuladores SiTree (Antón-Fernández & Astrup 2022). Estos modelos utilizarán datos de parcelas de investigación y permitirán simular manejos menos convencionales, como la silvicultura de cubierta continua, que no es viable con modelos tradicionales.

4. Simuladores para decisiones a nivel regional o nacional

Los simuladores para decisiones a nivel nacional o regional se utilizan para planificar estrategias de manejo forestal que optimicen el uso sostenible de los recursos en grandes territorios. Permiten evaluar el impacto de diferentes políticas forestales, como límites de corta, estrategias de regeneración y conservación, considerando la diversidad de rodales, restricciones de manejo y riesgos bióticos o abióticos en amplias escalas espaciales. Por ello, deben representar la diversidad



de rodales en el territorio, incluyendo masas bien manejadas y aquellas menos intervenidas. Para ello, los modelos deben ser versátiles, simulando distintas especies, mezclas, densidades y tamaños de árboles. Es fundamental que estos modelos no produzcan resultados sesgados, puesto que estos puedan escalar a errores significativos al aplicar los resultados a áreas extensas.

En este contexto, los simuladores suelen explorar un menor número de opciones de manejo, pero deben procesar territorios extensos, lo que aumenta los requisitos computacionales. Además, el manejo aplicado debe incorporar restricciones de manejo, como áreas protegidas, para generar resultados más realistas. Estos simuladores son usados frecuentemente para diseñar políticas forestales, por lo que es deseable que incluyan opciones para diseñar el manejo de acuerdo a diferentes criterios. Por ejemplo, estableciendo límites de corta por regiones y/o estratos, priorizando cortas según diferentes criterios (p. ej. masas más maduras en áreas de alto potencial de productividad), y diferentes estrategias de regeneración.

En Noruega, el marco de simuladores SiTree, desarrollado en R y disponible en CRAN, ha sido la herramienta principal durante más de una década, utilizando modelos ajustados con datos del inventario forestal nacional. Este simulador ha permitido asesorar decisiones en políticas forestales, estrategias de asociaciones de propietarios y evaluar políticas a nivel nacional.

Más recientemente, se desarrolló PixSim (Cattaneo et al. 2024), un simulador para mapas de recursos forestales. Aunque utiliza modelos más simplificados, permite simular todo el territorio forestal noruego, integrando análisis de riesgos bióticos y abióticos, como tormentas o plagas, con un fuerte componente espacial.

5. Conclusiones

Los simuladores forestales son herramientas imprescindibles para abordar los desafíos de la gestión forestal moderna. Sin embargo, su utilidad está intrínsecamente ligada a su capacidad para ajustarse a las necesidades específicas de los diferentes niveles de decisión.

A nivel de rodal, los simuladores deben priorizar la sensibilidad al manejo y la precisión en las predicciones para maximizar su utilidad en decisiones operativas. Aunque en Noruega aún no contamos con herramientas ampliamente implementadas para este propósito, los desarrollos en curso, como el simulador basado en árboles individuales de NIBIO, muestran un camino prometedor. Los avances tecnológicos, como el uso de inventarios de alta resolución, pueden transformar este nivel de simulación, proporcionando análisis más detallados y ajustados, pero también computacionalmente más demandantes.

Por otro lado, a nivel regional o nacional, la representatividad de los datos y la falta de sesgo de los modelos son factores clave. Los simuladores como SiTree han demostrado ser herramientas confiables para este nivel, mientras que los



simuladores de mapas de recursos forestales, como PixSim, aportan nuevas capacidades al poder simular el territorio forestal de pared a pared, abriendo oportunidades para explorar riesgos específicos y promover una planificación más integrada. No obstante, el reto sigue siendo equilibrar la complejidad de los modelos con las limitaciones computacionales.

La experiencia en Noruega subraya la necesidad de una constelación de simuladores, cada uno adaptado a una escala y propósito específico. Este enfoque permite abordar tanto decisiones operativas como estrategias de política forestal, integrando datos representativos y tecnologías innovadoras.

En última instancia, avanzar en el desarrollo y adopción de estas herramientas, así como en la capacitación de usuarios, será crucial para enfrentar los desafíos de la gestión forestal y garantizar la sostenibilidad de los recursos a largo plazo.

6. Bibliografía

ANTÓN-FERNÁNDEZ, CLARA; ASTRUP, RASMUS; 2022. SiTree: A Framework to Implement Single-Tree Simulators. *SoftwareX* 18: 100925 1 – 5

CATTANEO, NICOLAS, CLARA; ASTRUP, RASMUS; ANTÓN-FERNÁNDEZ, CLARA; 2024. PixSim: Enhancing High-Resolution Large-Scale Forest Simulations. *Software Impacts*, 18: 100695 1 – 7

HYNYNEN, JARI; AHTIKOSKI, ANSSI; SIITONEN, JUKKA; SIEVÄNEN, RISTO; LISKI, JARI; 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effect of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management*, 207(1-2): 5–18.

WIKSTRÖM, PEDER; EDENIUS, LARS; ELFVING, BJÖRN; ERIKSSON, LJUSK OLA; LÄMÅS, TOMAS; SONESSON, JOHAN; ÖHMAN, KARIN; WALLERMAN, JÖRGEN; WALLER, CARINA; KLINTEBÄCK, FREDRIK; 2011. The Heureka Forestry Decision Support System: An Overview. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences*, 3(2): 87–94.