



2022
Lleida

27 · 1
junio · juny
juliol · juliol

Cataluña
Catalunya

8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La **Ciencia forestal** y su contribución a
los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**

8CFE

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales

Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022

ISBN 978-84-941695-6-4

© Sociedad Española de Ciencias Forestales



Organiza

Forema-RV: un prototipo de plataforma visual inmersiva para explorar el futuro de los bosques frente al cambio climático

CRISTAL, I.^{1,2}, GONZALEZ-OLABARRIA, J. R.¹ y GARCÍA GONZALO, J.¹

¹ Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya.

² Forest Bioengineering Solutions

Resumen

La gestión forestal se enfrenta a múltiples retos relacionados con el cambio climático. Para comprender mejor estos retos y mejorar la toma de decisiones, es fundamental que los profesionales del sector forestal aprovechen todo el potencial de los métodos y herramientas disponibles. Las nuevas tecnologías, como la realidad virtual, crean nuevas oportunidades en la toma de decisiones basada en datos. Forema-VR es un prototipo de plataforma visual inmersiva que ilustra datos de rodales a través de árboles individuales, y que admite visualización 3D en web y de realidad virtual (RV). Forema-RV está vinculado a una base de datos que contiene una colección de rodales simulados mediante diferentes alternativas de gestión forestal y escenarios de cambio climático.

Palabras clave

Realidad virtual, visualización 3D, gestión forestal, cambio climático.

1. Introducción

En la era digital, podemos permitirnos una mejor toma de decisiones con tecnología, así como mejorar la transferencia de conocimiento del sector académico a los profesionales. En particular, en el sector forestal, comprender la variabilidad y la dinámica de los ecosistemas, así como sus respuestas al cambio climático, es un reto para legisladores, gestores de recursos forestales y otras personas involucradas en la toma de decisiones (CHADLER et al., 2021). La creciente amenaza de los impactos del cambio climático está imponiendo un cambio en los objetivos de gestión. Sin embargo, herramientas digitales para pronosticar el impacto del cambio climático en los bosques solo se diseñan en entornos de investigación (CRISTAL et al., 2019), mientras que los medios visuales convencionales (por ejemplo, mapas, tablas, gráficos) a menudo son insuficientes para inspirar acciones concretas y cerrar la brecha entre investigación y política (HUANG et al., 2020). Así, la realidad virtual (RV), al representar de manera efectiva el futuro de los paisajes, ha demostrado ser útil en la transferencia de conocimientos y mejorar la capacidad cognitiva (RADIANTI J., et al., 2020, FABRIKA M., et al., 2019). Combinada con el conocimiento científico en dinámica forestal, esta tecnología puede traducirse en una importante herramienta de decisión en la gestión de recursos forestales.

Algunos estudios ya han explorado el uso de técnicas de realidad virtual o mixta en la educación forestal. Por ejemplo, GONZÁLEZ-OLABARRIA et al. (2007), crearon un bosque virtual, con el fin de reducir los costes de desplazamiento a campo. FABRIKA et al. (2018) desarrollaron una aplicación de realidad virtual para la capacitación en claras, mediante la combinación de un modelo de crecimiento forestal y el sistema Cave Automatic Virtual Environment (CAVE). Si bien estos estudios utilizaron RV en el aprendizaje, no consideraron el efecto del cambio climático en el crecimiento y desarrollo de los árboles.

Nuestro enfoque utiliza la tecnología RV para explorar cómo el cambio climático y los regímenes de clara afectan los bosques de Cataluña, España. Para ello, visualizamos los resultados de simulaciones de dinámica forestal en 3D y desarrollamos un entorno interactivo de realidad virtual, donde los usuarios pueden elegir diferentes opciones de gestión forestal y escenarios de cambio climático para inmersirse en un bosque virtual del futuro.

2. Objetivos

Integrando enfoques convencionales de investigación con tecnologías punta podemos desarrollar herramientas innovadoras en silvicultura. El objetivo principal del proyecto es mejorar la comprensión y ayudar a la toma de decisiones en la gestión sostenible de recursos naturales, mediante visualizaciones inmersivas. Específicamente, mediante la creación de una aplicación de realidad virtual capaz de proyectar escenarios futuros de dinámica forestal y el rendimiento asociado de los servicios ecosistémicos, nuestro objetivo es servir de puente entre la comunidad científica y el personal administrador y gestor de recursos naturales. El objetivo general del proyecto es incentivar la adquisición de nuevo conocimiento, y específicamente, proyectar escenarios futuros de ecosistemas forestales bajo diferentes estrategias de gestión y condiciones climáticas. Forema-RV ayudará a comprender y analizar problemas como:

- Cómo afecta el cambio climático a los bosques y a los servicios ecosistémicos.
- Qué servicios ecosistémicos se ven más afectados por el cambio climático y en cuáles urge más una respuesta.
- Cómo la gestión forestal puede mitigar el impacto de perturbaciones naturales ahora y en el futuro.

3. Metodología

El enfoque metodológico se basa en el diseño conceptual del sistema RV (Figura 1), que integra simulaciones de dinámica forestal y de servicios ecosistémicos, generación y almacenamiento de recursos 3D y aplicación RV. Los pasos operativos fueron los siguientes:

1. Simular el crecimiento forestal y los servicios ecosistémicos para un área determinada.
2. Diseñar una base de datos para almacenar datos relacionados con el bosque, resultados de las simulaciones y recursos 3D.
3. Crear un marco para generar recursos 3D basados en los resultados de las simulaciones.
4. Desarrollar un entorno interactivo de realidad virtual donde los usuarios pueden elegir entre diferentes opciones de gestión y escenarios de cambio climático y visualizar los resultados.

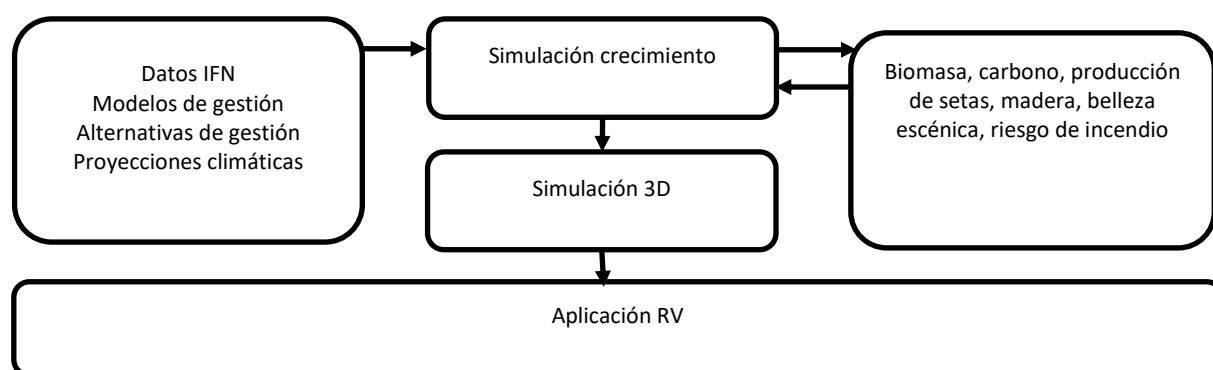


Figura 1. Diseño conceptual del sistema: el simulador forestal lee los datos de entrada y los traduce a modelos de árbol 3D. Luego, el modelo se introduce en la interfaz RV.

3.1. Simulación forestal

Los modelos matemáticos basados en la teoría ecológica, como los modelos basados en procesos, se consideran un enfoque adecuado para promover la gestión adaptativa de los sistemas ecológicos en el contexto del cambio climático (MÄKELÄ et al. 2000). Los modelos que incluyen

detalles de la estructura y composición del bosque mejoran la simulación de la dinámica de la vegetación y las reacciones ambientales correspondientes. Utilizamos Forema-DST, una herramienta de apoyo a la decisión que integra modelos de crecimiento forestal basados en procesos (CANHAM et al. 2005) y parametrizados para cuatro especies forestales en Cataluña (AMEZTEGUI et al. 2015), con modelos de Servicios Ecosistémicos (ES), como secuestro de carbono, belleza escénica, producción de setas, producción de madera y riesgo de perturbaciones (CRISTAL et al. 2019).

Forema-DST toma como entrada a) características de los rodales y árboles, en un formato compatible con los datos extraídos de la base de datos del Inventario Nacional Forestal (INF), b) escenarios de cambio climático (mediante proyecciones de temperatura y precipitación), y c) alternativas de gestión (ya sea a través de claras predefinidas o especificando objetivos de gestión). El resultado es un conjunto de variables que reflejan la evolución del rodal a lo largo del tiempo: a nivel de árbol (diámetro a la altura del pecho (DAP), altura, radio de copa) y a nivel de rodal (Área Basal (BA), diámetro medio, altura media, número de árboles muertos, biomasa, árboles en pie, madera, secuestro de carbono, producción de hongos, indicadores de belleza escénica, indicadores de biodiversidad, indicadores de riesgo de incendios, etc.)

Seleccionamos masas forestales de *Pinus sylvestris*, *P. nigra* y *P. uncinata* del INF, situadas a lo largo del gradiente climático de Cataluña, y las simulamos bajo escenarios de cambio climático, aplicando diferentes regímenes de gestión forestal (Figura 2). Los resultados obtenidos se tradujeron en modelos 3D.

Rodales control (sin gestionar)	Gestión para producción de madera	Gestión para reducir riesgo de incendio
<ul style="list-style-type: none"> • Clima histórico • Escenario climático RCP 4.5 • Escenario climático RCP 8.5 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 o 4 claras • Tala final • Aplicado en 3 escenarios climáticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Clara baja intensidad • Aplicado en 3 escenarios climáticos

Figura 2. Escenarios de gestión y cambio climático utilizados para la simulación de las alternativas.

3.2. Simulación 3D

Los modelos 3D pueden mejorar la experiencia subjetiva del usuario en entornos virtuales, por lo tanto, debemos garantizar la sensación de presencia y de realidad de los objetos. En este estudio, exploramos el método de vallas publicitarias para crear árboles 3D a partir de imágenes de árboles de alta resolución. Además, creamos un marco para producir modelos 3D para RV a partir de los resultados de las simulaciones de dinámica forestal.

Primero, creamos una colección de imágenes con imágenes representativas de cada especie de árbol y clase de DAP. Las imágenes fueron tomadas en el campo y procesadas eliminando el fondo y corrigiendo geometría y color.

Luego, los resultados de Forema-DST se leyeron en Python y se tradujeron a escena X3D (Web 3D Consortium) utilizando un enfoque de reconstrucción de modelos basado en imágenes. Las características de cada árbol simulado se utilizaron para identificar, posicionar y escalar las imágenes correspondientes. Finalmente, el contenido 3D, en forma de archivos X3D, se importó a la aplicación de visualización 3D.

5. Resultados

La aplicación RV permite explorar los impactos de gestión bajo diferentes escenarios de cambio climático tanto a nivel de árbol como de servicios ecosistémicos forestales (Figura 3). El menú incorporado en la aplicación RV permite a los usuarios seleccionar el objetivo de gestión y los escenarios de cambio climático. Los usuarios pueden navegar por la escena 3D y recuperar información de árboles y rodales de la base de datos, como especie, DAP, altura, servicios ecosistémicos.

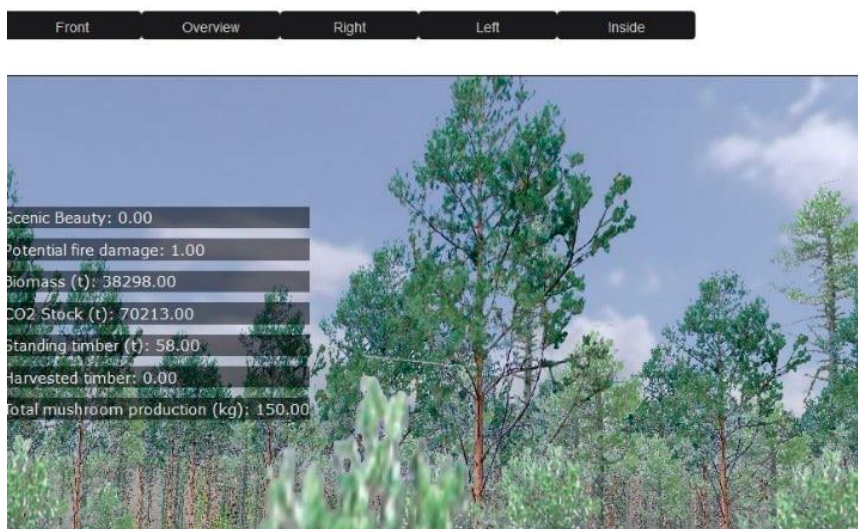


Figura 3. Interfaz de usuario de realidad virtual con el menú que muestra los valores de los servicios ecosistémicos.

Las siguientes figuras ilustran ejemplos de diferentes alternativas de gestión aplicadas a una misma parcela (figuras 4, 5 y 6), bajo diferentes escenarios climáticos. El usuario puede evaluar visualmente el impacto de estas perturbaciones navegando por el bosque virtual, pero también extrayendo los resultados de la simulación de la base de datos (p. ej., biomasa total, carbono secuestrado, etc.).



Figura 4. Clara intensiva, clima histórico, 5 años después de la gestión.

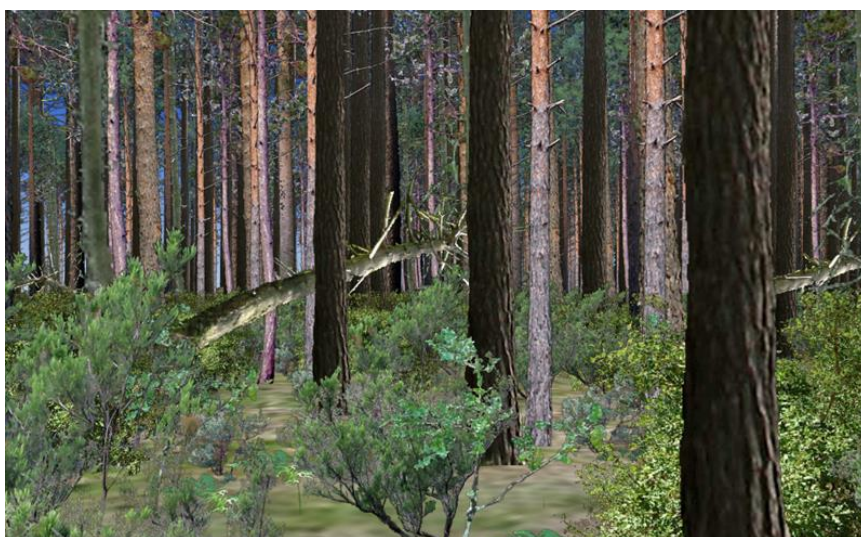


Figura 5. Rodal no gestionado, escenario climático RCP 4.5



Figura 6. Clara de baja intensidad, escenario climático RCP 8.5

6. Discusión y Conclusiones

En este estudio desarrollamos Forema-VR, una aplicación que proyecta escenarios futuros de dinámica forestal y los servicios ecosistémicos asociados, con la perspectiva de acercar investigación y toma de decisiones en silvicultura.

Hoy día, al planear y ejecutar la gestión forestal en un determinado bosque, es necesario tanto hacer uso de proyecciones climáticas para entender la dinámica forestal como comunicar los resultados de forma entendible. Sin embargo, debido a su complejidad, muchos modelos de simulación forestal que incorporan el efecto del cambio global se limitan al uso científico. Habitualmente los resultados de las simulaciones se presentan a través de mapas y gráficos que

ilustran la dinámica forestal histórica y futura. Estas visualizaciones requieren de conocimiento ecológico/forestal y pueden ser abrumadoras y difíciles de interpretar, incluso para profesionales experimentados (CHADLER et al., 2021).

Las aplicaciones de RV, como la desarrollada en este estudio, son una buena solución a estos retos de comunicación. A través de visualizaciones inmersivas, Forema-VR brinda experiencias realistas que no están restringidas a la realidad física, como experimentar cambios temporales en el pasado y el futuro de un ecosistema forestal.

Nuestro enfoque tiene el potencial de incentivar el uso de proyecciones climáticas en ecosistemas forestales más allá de la investigación forestal, contribuyendo así en muchos niveles a la adaptación al cambio climático: aumentar la conciencia sobre el efecto del cambio climático, facilitar la comprensión con fines educativos o ayudar en la toma de decisiones en gestión forestal adaptativa.

La tecnología propuesta también podría aplicarse como complemento a las metodologías de aprendizaje tradicionales, ya sea en formación profesional, educación superior, aprendizaje permanente o práctica profesional. Podría servir como una herramienta para que investigadores y estudiantes aprendan y exploren todo un mundo de simulación forestal. También esperamos el uso de la herramienta por parte de la comunidad científica, para mejorar la interpretación de datos complejos y modelos ecológicos.

7. Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por la Beca Doctorats Industrials de la Generalitat de Catalunya. Muchas gracias a Lena Vilà Vilardell por su valiosa ayuda en la edición de la versión en español del manuscrito.

8. Bibliografía

AMEZTEGUI, A.; COLL, L.; MESSIER, C.; 2015. Modelling the effect of climate-induced changes in recruitment and juvenile growth on mixed-forest dynamics: The case of montane—Subalpine Pyrenean ecotones. *Ecological Modeling* 313, 84–93.

CANHAM, C.D.; MURPHY, L.E.; PAPAİK, M.; 2005. SORTIE-ND: Software for Spatially-Explicit Simulation of Forest Dynamics. Cary Institute of Ecosystem Studies: Millbrook, NY, USA.

CHANDLER, T; RICHARDS, A. E.; JENNY, B.; . DICKSON, F; HUANG J.; KLIPPEL, A.; NEYLAN, M.; WANG, F.; PROBE, S. M.; 2021. Immersive landscapes: modelling ecosystem reference conditions in virtual reality. *Landscape Ecology* 1-17.

CRISTAL, I., AMEZTEGUI, A., GONZÁLEZ-OLABARRIA, J.R., GARCIA-GONZALO, J. A. 2019. Decision Support Tool for Assessing the Impact of Climate Change on Multiple Ecosystem Services. *Forests* 10, 440.

FABRIKA, M.; VALENT, P.; MERGANIČOVÁ, K.; 2019. Forest modelling and visualisation - state of the art and perspectives. *Central European Forestry Journal*, 66(3–4), 147–165.

FABRIKA, M.; VALENT, P.; SCHEER, L.; 2018. Thinning trainer based on forest growth model, virtual reality and computer-aided virtual environment. *Environmental Modelling and Software*, 100, 11–23.

GONZÁLEZ, J.R.; KOLEHMAINEN, O.; PUKKALA, T.; 2007. Using expert knowledge to model forest stand vulnerability to fire. *Computers and Electronics in Agriculture*, 55(2), 107-114.

HUANG, J.; LUCASH, M. S.; SCHELLER, R. M.; KLIPPEL, A.; 2020. Walking through the forests of the future: using data-driven virtual reality to visualize forests under climate change. *International Journal of Geographical Information Science* 35(6), pp.1155-1178.

MÄKELÄ, A.; LANDSBERG, J.; EK, A.R.; BURK, T.E.; TER-MIKAELIAN, M.; AGREN, G.I.; OLIVER, C.D.; PUTTONEN, P.; 2000. Process-based models for forest ecosystem management: Current state of the art and challenges for practical implementation. *Tree Physiol.* 20, 289–298.

RADIANTI, J.; MAJCHRZAK, T. A.; FROMM, J.; WOHLGENANT, I.; 2020. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers and Education* 147 103778.