



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



## Evaluando la incertidumbre estructural en los modelos de dinámica forestal

DÍAZ-YÁÑEZ, O<sup>1</sup>, BUGMANN, H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Forest Ecology. Department of Environmental Systems Science, Forest Ecology, Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich), Universitätstrasse 16, 8092, Zürich, Switzerland.

### Resumen

Los bosques proporcionan una amplia gama de beneficios a las sociedades y desempeñan un papel importante en la transición a una "bioeconomía", es decir, una economía basada en recursos biológicos renovables. Para evaluar la evolución futura de los bosques, las observaciones y la experimentación deben complementarse con actividades de modelización. Existe una amplia gama de modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje. El problema es que estos modelos se han convertido en estructuras muy complejas cuyas relaciones y supuestos subyacentes son difíciles de evaluar. En nuestro estudio estamos tratando de atajar este problema mediante análisis de sensibilidad de ciertos parámetros, modificando relaciones entre factores o comparando modelos. Nuestro enfoque es en evaluar la incertidumbre asociada a predicciones relacionadas con perturbaciones bióticas. Nuestro objetivo es abrir caminos que sirvan para evaluar de manera definitiva y sistemática la incertidumbre de modelos de dinámica forestal en relación con la importancia de ciertos procesos ecológicos y con ello poder proporcionar mejores proyecciones del estado y la dinámica futura de los bosques y de sus múltiples beneficios asociados. En este estudio nos hemos centrado en las predicciones de daños causados por *Ips typographus*. Los resultados de este estudio señalan que ciertas formulaciones ecológicas relacionadas con cómo el modelo define la susceptibilidad del bosque a sufrir daños por *Ips typographus* son más relevantes que otras, por ejemplo, aquellas relacionadas con el impacto de sequías o daños por viento. Sin embargo, otros aspectos como qué alternativas escogemos para definir como se dispersan en el paisaje no tienen tanta relevancia. Todos estos resultados mejorarán la estructura del modelo haciendo sus predicciones menos inciertas.

### Palabras clave

Incertidumbre, evaluación, modelos de dinámica forestal, modelo basado en procesos.

### 1. Introducción

Los bosques proporcionan productos y servicios fundamentales a la sociedad, como la madera, el almacenamiento de carbono o la biodiversidad. La capacidad de los bosques para proporcionar estos servicios ecosistémicos está muy influenciada por el cambio climático y las perturbaciones naturales, ya que suelen cambiar la estructura, la composición y el funcionamiento de los bosques (Dietze et al. 2018). En el caso de las perturbaciones, como la caída de árboles por viento o daños causados por insectos, es necesario adoptar una perspectiva de paisaje (Turner 2010). Los modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje se utilizan a menudo para comprender mejor los cambios en la vegetación y evaluar el futuro suministro de servicios y productos del bosque (Shifley et al. 2017). Dado que estas proyecciones son de gran importancia para la sociedad, es imperativo comprender su incertidumbre subyacente. Hasta ahora se ha prestado cierta atención a la incertidumbre de los parámetros de los modelos (Sommerfeld et al. 2020) y de los datos usados para crear proyecciones, por ejemplo, en los escenarios de emisiones y cambio climático (Leemans 1991), sin embargo, las incertidumbres internas de los modelos siguen siendo poco exploradas.

Los modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje son estructuras complejas, ya que recogen múltiples procesos ecológicos a diferentes niveles de resolución que están interrelacionados. La forma de formular cada uno de estos procesos ecológicos ya está dando lugar a la incertidumbre estructural del modelo. Un mismo proceso ecológico puede ser definido de muchas maneras y apenas existen "principios" que sirvan de base para las formulaciones de cada uno de ellos. Por lo tanto, es importante evaluar la incertidumbre vinculada a las predicciones de los modelos que surgen debido a la incertidumbre en las formulaciones de los procesos. Una evaluación incompleta de las incertidumbres de los modelos implica que los resultados obtenidos en estudios de simulación basados en ellos están aquejadas del riesgo de una falsa seguridad y, por tanto, pueden ser de poca utilidad para respaldar decisiones de gestión del paisaje.

## 2. Objetivos

El objetivo general de este estudio es evaluar la incertidumbre en un modelo de dinámica del paisaje forestal a largo plazo, centrándose en las predicciones de las perturbaciones naturales y los impactos climáticos. Este primer trabajo se ha basado en el modelo LandClim (Schumacher et al. 2004) y en definir la metodología a seguir para evaluar su incertidumbre estructural. Los objetivos más específicos de éste estudio son (i) determinar la metodología más valiosa para detectar que procesos ecológicos tienen mayor impacto en la incertidumbre estructural del modelo, (ii) llevar a cabo y analizar simulaciones considerando las perturbaciones y la atribución del impacto climático teniendo en cuenta la incertidumbre estructural, y (iii) proporcionar proyecciones robustas de la dinámica del paisaje forestal y los servicios ecosistémicos asociados bajo la influencia de las perturbaciones. El contenido que aquí exponemos se centra mayoritariamente en la metodología que estamos siguiendo para reducir la incertidumbre estructural y en resultados preliminares realizados hasta ahora.

## 3. Metodología

Nos hemos centrado en las perturbaciones causadas por *Ips typographus* y sus interacciones con el viento y la sequía. Estamos analizando la incertidumbre del modelo utilizando cuatro áreas de estudio en Europa central. La metodología se ha desarrollado en el marco de la modelización orientada a patrones para descifrar la organización interna del modelo. Este enfoque nos permite utilizar sistemáticamente múltiples patrones observados en los sistemas reales para optimizar la complejidad de los modelos y reducir la incertidumbre.

Los datos a nivel de paisaje que estamos usando representan diferentes entornos geográficos y, por lo tanto, ambientales, extensiones espaciales y temporales. Estas áreas de estudio son representativas del impacto de las perturbaciones causadas por los *Ips* en áreas más grandes que los propios paisajes de estudio.

## 4. Resultados y discusión

Hemos seguido la estrategia denominada modelización orientada a patrones para hacer la modelización más rigurosa y completa. Los resultados finales no están aún disponibles, pero aquí describimos la metodología desarrollada para evaluar la incertidumbre estructural del modelo LandClim, resultados preliminares y cómo esperamos que esta metodología descifre la complejidad y nivel óptimo de resolución en la estructura del modelo.

Actualmente el sub-módulo de daños causados por *Ips* está compuesto por cuatro procesos ecológicos principales: susceptibilidad, presión, dispersión y mortalidad (Figura 1) (Temperli et al., 2013). Cada uno de los procesos ecológicos está representado por la combinación de diferentes ecuaciones definiendo diferentes parámetros y subprocesos. Encontrar el nivel óptimo de resolución en la estructura de un modelo es un problema fundamental (Grimm, V. et al., 1996, 2005). Si un modelo es demasiado simple, deja de lado mecanismos esenciales del sistema real, lo que limita su

potencial para proporcionar comprensión y predicciones comprobables en relación con el problema que aborda. Si un modelo es demasiado complejo, su análisis será complejo y es probable que se quede atascado en los detalles (Walker et al., 2021). Otro aspecto importante es comprobar y comparar formulaciones alternativas para cada uno de los procesos.

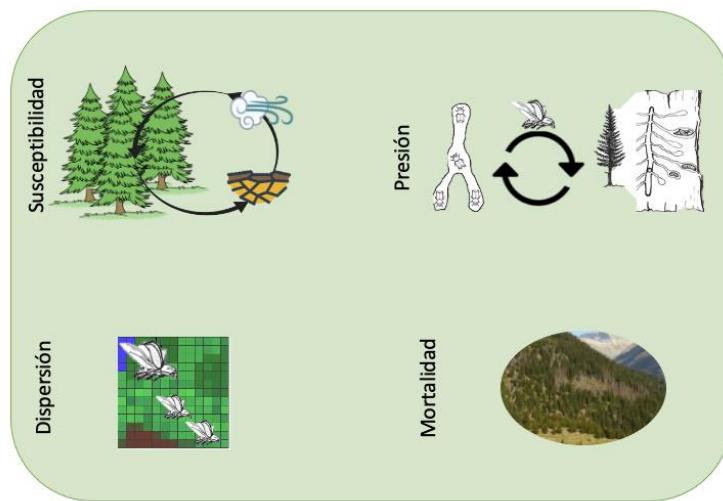


Figura 1. Procesos ecológicos representados en el submódulo de daños causados por *Ips* en LandClim.

Por ejemplo, hemos obtenido resultados en relación con la importancia de diferentes parámetros que definen la susceptibilidad de la masa a sufrir daño por *Ips* (daños por viento, sequía, proporción de abeto y edad de la masa forestal). La Figura 2 demuestra el resultado de 2000 simulaciones realizadas con LandClim en las que se asignó aleatoriamente el peso a cada uno de los parámetros, el color representa que parámetro fue considerado más importante (con más peso) en esa simulación. Esta es una primera aproximación hecha para determinar cual de los cuatro factores es más importante en definir la susceptibilidad del bosque y en consecuencia qué cambios sería requeridos en la formulación de este proceso ecológico. De esta manera cada una de las formulaciones será comparada y evaluada empezando por formulaciones más sencillas y moviéndonos hacia más complejas.

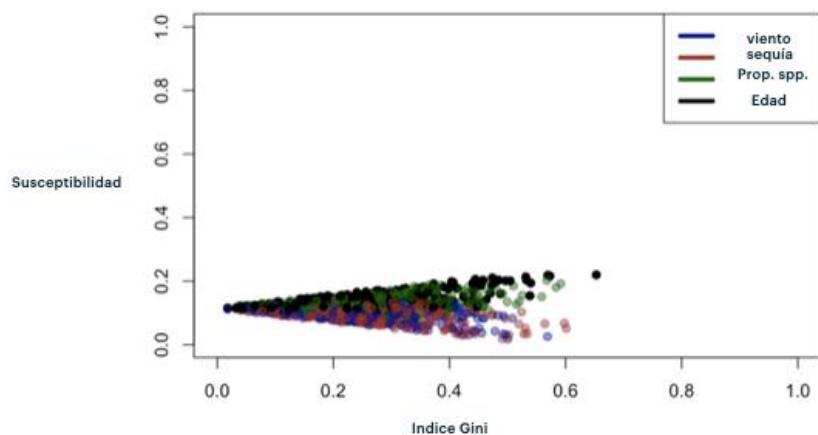


Figura 2. Esta figura muestra 2000 simulaciones con pesos asignados al azar para cada uno de los parámetros que definen susceptibilidad. Los colores representan el parámetro más importante para esa simulación (el peso con el valor más alto). Los valores del índice de Gini más cercanos a 0 representan simulaciones con pesos más equitativos. Los valores del índice de Gini más cercanos a 1 representan simulaciones con mayor desigualdad.

La forma en la que evaluaremos cada una de las alternativas y niveles de complejidad es comparando las proyecciones realizadas por el modelo para cada variación con múltiples patrones de datos observados en sistemas reales. El uso de diferentes patrones observados para el diseño del modelo vincula directamente la estructura del modelo con la organización interna del sistema real (Neupane et al., 2022). Los datos han sido seleccionados para representar patrones reales a diferentes niveles jerárquicos y escalas lo que nos ayudará a optimizar la complejidad del modelo y reducir la incertidumbre.

## 5. Conclusiones

La gestión forestal no puede centrarse en la consideración de cada rodal por separado, sino que debe operar a escala de paisaje para tener éxito, en el futuro incluso más que en el pasado. Los modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje son herramientas clave para apoyar la gestión forestal adaptada al clima a esta escala, pero la modelización del paisaje debe ponerse al día con la investigación a escala de rodal y a escala global, sobre todo porque las incertidumbres son particularmente pronunciadas cuando la modelización es realizada a escala de paisaje. Por lo tanto, este estudio impulsa la modelización del paisaje forestal evaluando sistemáticamente el estado del arte en Europa usando el modelo LandClim, mejorando de esta manera la base metodológica para hacerlo y proporcionando estimaciones sólidas de la dinámica futura del paisaje que sean útiles como apoyo a la toma de decisiones para la gestión.

Específicamente, los resultados de esta investigación mejorarán nuestra comprensión de cómo representar mejor las perturbaciones naturales en los modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje, y aumentará fuertemente la precisión de las predicciones de estos modelos con respecto a los daños causados por *Ips*, un agente de daño clave en muchos bosques europeos y con una esperada prevalencia en las próximas décadas. Junto con esta mejora estructural, también proporcionaremos estimaciones mejores y más robustas de la incertidumbre de la proyección de los modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje, centrándonos no sólo en la incertidumbre de los parámetros y los datos de entrada, sino también en la primera comparación exhaustiva de formulaciones alternativas, con un análisis detallado de la incertidumbre estructural. Sobre la base de estos análisis, podremos identificar el nivel de complejidad necesario en los modelos de dinámica forestal a nivel de paisaje para procesos de perturbación específicos, y qué variables y procesos deben incluirse para que puedan surgir en el modelo los patrones multiescala característicos que se sabe que existen en la realidad.

## 6. Agradecimientos

Este estudio es parte del proyecto “Embracing structural uncertainty in models of forest dynamics” financiado por la Swiss Science National Foundation.

## 7. Bibliografía

DIETZE, M.C., FOX, A., BECK-JOHNSON, L.M., BETANCOURT, J., HOOTEN, M., JARNEVICH, C., KEITT, T., KENNEY, M., LANEY, C., LARSEN, L., LOESCHER, H., LUNCH, C., PIJANOWSKI, B., RANDERSON, J., READ, E., TREDENNICK, A., VARGAS, R., WEATHERS, K., WHITE, E.; 2018 Iterative nearterm ecological forecasting: Needs, opportunities, and challenges. Proc National Acad Sci 115:201710231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710231115>

GRIMM, V., FRANK, K., JELTSCH, F., BRANDL, R., UCHMAŃSKI, J., WISSEL, C.; 1996. Pattern-oriented modelling in population ecology. Sci Total Environ 183, 151–166.

GRIMMELOY, V., BERGERFLORIAN, R., MOOIJSTEVEN, J et al.; 2005. Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems: Lessons from Ecology. *Science* 310, 987–991.

LEEMANS, R.; 1991. Sensitivity analysis of a forest succession model. *Ecol Model* 53:247–262. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(91\)90158-w](https://doi.org/10.1016/0304-3800(91)90158-w)

NEUPANE, N., ZIPKIN, E. F., SAUNDERS, S. P. & RIES, L.; 2022. Grappling with uncertainty in ecological projections: a case study using the migratory monarch butterfly. *Ecosphere* 13.

SHIFLEY, S.R., HE, H.S., LISCHKE, H., WANG, W., JIN, W., GUSTAFSON, E., THOMPSON, J., THOMPSON, F., DIJAK, W., YANG, J.; 2017. The past and future of modeling forest dynamics: from growth and yield curves to forest landscape models. *Landscape Ecol* 32:1307–1325. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0540-9>

SOMMERFELD, A., RAMMER, W., HEURICH, M., HILMERS, T., MÜLLER, J., SEIDL, R.; 2020. Do bark beetle outbreaks amplify or dampen future bark beetle disturbances in Central Europe? *J Ecol*. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13502>

SCHELLER, R.M., MLADENOFF, D.J. 2004. A forest growth and biomass module for a landscape simulation model, LANDIS: design, validation, and application. *Ecol Model* 180:211–229. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.022>

TEMPERLI, C., BUGMANN, H., ELKIN, C.; 2013. Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach. *Ecol Monogr* 83:383–402. <https://doi.org/10.1890/12-1503.1>

TURNER, M.G.; 2010. Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology* 91:2833–2849. <https://doi.org/https://doi.org/10.1890/10-0097.1>

WALKER, A. P. et al.; 2011. Multi-hypothesis comparison of Farquhar and Collatz photosynthesis models reveals the unexpected influence of empirical assumptions at leaf and global scales. *Global Change Biol* 27, 804–822.