

EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LOS MODELOS DE REGENERACIÓN POST-INCENDIO

Javier Madrigal Olmo, Carmen Hernando Lara y Mercedes Guijarro Guzmán

CIFOR – INIA. Departamento de Sistemas y Recursos Forestales. Ctra. A Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: incendio@inia.es

Resumen

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) tienen una amplia difusión en la gestión forestal, resultando imprescindibles para todo tipo de actuaciones. En el área de los incendios forestales también se están utilizando en muchos aspectos relacionados con la prevención, detección, extinción, evaluación de la regeneración natural y restauración del paisaje. Sin embargo, cierto desconocimiento sobre los factores más influyentes en la regeneración natural post-incendio de la mayoría de las especies arbóreas mediterráneas hace que los avances en este sentido hayan sido inferiores a los de otros campos y actualmente no se dispone de herramientas predictivas suficientemente contrastadas que permitan planificar la prevención y la restauración en función de las características regenerativas de las especies y comunidades afectadas. Por todo ello la elaboración de modelos para explicar y predecir la regeneración post-incendio debe aprovechar la información existente en las bases de datos publicadas por las diferentes Administraciones Públicas y proponer herramientas que incluyan variables fáciles de obtener a través de aquéllas. Con este objetivo se describe el proceso de elaboración de modelos de regeneración post-incendio con la ayuda de SIG y se propone el uso de los mismos en la gestión de zonas quemadas. Así mismo se exponen líneas de futuro para la mejora de los modelos a través del uso de las nuevas tecnologías y su compatibilidad con las herramientas utilizadas en la defensa integrada contra los incendios.

Palabras clave: *Modelos estadísticos, Redes neuronales, Restauración del paisaje, Selvicultura preventiva, Sistemas de toma de decisiones*

INTRODUCCIÓN

El incendio forestal es una de las grandes amenazas de nuestros bosques debido a su gravedad y recurrencia en los últimos años, constituyendo uno de los principales problemas medioambientales, con implicaciones a nivel económico, social, ecológico y paisajístico (VÉLEZ, 2000). Además, en Europa, está comenzando a detectarse un hecho observado desde hace algún tiempo Norteamérica y Australia,

conocido como “paradoja de la extinción”, ya que, aparentemente, los cambios del uso del suelo junto con una eficiente política de exclusión del fuego, podrían tener el efecto paradójico de incrementar el *riesgo de grandes incendios*, que sobrepasan la capacidad de extinción de los medios disponibles.

Los grandes incendios plantean también muchos problemas de gestión en la restauración de la cubierta vegetal y el paisaje. A la dificultad de regeneración para muchas de las especies,

debemos unir el elevado coste de las posibles ayudas selvícolas (replantaciones, tratamientos selvícolas de ayuda al regenerado) debido a las grandes superficies afectadas. Otros factores importantes con efectos sobre el regenerado consecuencia de la gestión forestal son la saca de la madera quemada y la herbivoría de ganado doméstico o silvestre. Por tanto, parece necesario poner mayor énfasis en aspectos preventivos y en metodologías que permitan establecer criterios *a priori* para poder realizar una planificación espacio-temporal en las zonas más afectadas por los grandes incendios, y también en criterios *a posteriori* para poder planificar medidas de restauración del paisaje. Para cumplir dichos objetivos es fundamental el estudio de los ecosistemas afectados por grandes incendios, de las estrategias regenerativas de las especies, especialmente en las especies arbóreas, y de los factores ecológicos y de comportamiento del fuego que influyen en la regeneración post-incendio. Actualmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) intervienen en todo el proceso, desde la toma de datos hasta las propuestas de gestión del territorio.

Las técnicas de control y ordenación del combustible deberían progresar a partir del conocimiento de las características de las especies forestales y de los ecosistemas, de manera que permitan una gestión integrada de los mismos, teniendo en cuenta, además de la prevención de incendios, la conservación de la biodiversidad, la fijación del carbono, la lucha contra la desertificación y el potencial de regeneración post-incendio, en un escenario de cambio climático. Existe por tanto la *necesidad de integrar* con las herramientas de gestión disponibles, tanto las bases de datos existentes, como los mapas y modelos basados en los principios ecológicos, con un énfasis especial en las herramientas a escala regional y de paisaje que permitan utilizar la información biológica, climatológica, ecológica y geomorfológica. Para todo ello es fundamental el uso de las nuevas tecnologías como la teledetección y los sistemas de información geográfica que, teniendo en cuenta los criterios anteriores, pueden generar información adicional y mejorar la ya existente para establecer sistemas de toma de decisiones que tengan en cuenta las características del terri-

torio, sus condicionantes estructurales y la diversidad de factores ecológicos implicados. Se debería ir hacia modelos de gestión que armonicen las técnicas de silvicultura preventiva con el resto de las prácticas selvícolas y desarrollar un concepto de gestión forestal sostenible que incluya modelos dinámicos donde el clima y el papel del fuego determinen posibles procesos de sustitución de especies y/o implantación de masas multiespecíficas. En España se están haciendo algunas propuestas en este sentido con buenos resultados de aplicación (ALLOZA Y VALLEJO, 2004). Esta problemática se está abordando también a través de diversos proyectos integrados del Quinto y Sexto Programa Marco I+D de la UE (SPREAD; WARM; AUTOHAZARD PRO; FIREGUARD; FIRESTAR; FIRE PARADOX).

En la presente comunicación y con el objetivo de proponer metodologías válidas para la gestión basadas en criterios ecológicos, teniendo en cuenta la incidencia de los grandes incendios, se plantean una serie de propuestas de trabajo y aplicaciones al sector forestal. El uso de técnicas estadísticas de clasificación, como los modelos multinomiales, y técnicas basadas en la inteligencia artificial, mediante la generación de redes neuronales, ofrecen la posibilidad de elaborar modelos predictivos a diferentes escalas espacio-temporales. El desarrollo de aplicaciones basadas en SIG que utilicen estos modelos posibilitará su aplicación en la gestión del territorio para la protección frente al fuego y la restauración del paisaje tras los grandes incendios.

MODELOS DE REGENERACIÓN POST-INCENDIO

Elaboración de modelos de regeneración de especies arbóreas

La elaboración de modelos de regeneración post-incendio tiene como objetivo identificar, describir, cuantificar, valorar y analizar los factores ecofisiológicos más importantes que intervienen en el proceso. La metodología que se propone, en este caso, se basa en la elaboración de modelos explicativos y predictivos para su aplicación a la defensa integrada contra incendios forestales en base a variables de fácil obtención en

campo y/o disponibles en SIG, enfocando el problema en los grandes incendios. Esta metodología presenta una fase importante de recopilación de información previa asociada a la especie o ecosistema de interés, una fase de ubicación espacio-temporal del problema y una tercera fase, de gran importancia, que supone un estudio de campo exhaustivo para poder *demostrar* la implicación y significación de los *factores* relacionados con la regeneración. La escala de trabajo determinará la intensidad de muestreo, así como la generalidad de los resultados (MADRIGAL *et al.*, 2005).

La fase de elaboración de los datos de campo permite proponer modelos para caracterizar la regeneración de la especie de interés. La información cartográfica disponible y las bases de datos meteorológicas también se tendrán en cuenta, de forma que intervengan el mayor número de variables que pudieran resultar significativas. Los *modelos lineales, logísticos y multinomiales* se han mostrado como técnicas válidas y con alta capacidad de predicción (MADRIGAL, 2005). El uso de variables predictoras de fácil obtención mediante SIG, permitiría

la elaboración de cartografía basada en dichos modelos, de cara a la aplicación práctica como herramienta de gestión. Estas técnicas se pueden completar con otras basadas en la elaboración de redes neuronales (inteligencia artificial) que se muestra como una línea de futuro de alta aplicación en la modelización de procesos complejos.

En la figura 1 se muestra un esquema de las fases necesarias para la consecución de los objetivos propuestos. Es fundamental la *ubicación espacio-temporal del problema en función del régimen de incendios*, las superficies de afectación y muy especialmente, la *incidencia de los grandes incendios* en el territorio de estudio (*fase 2*), proceso para el cual es imprescindible un SIG. El muestreo de parcelas (*fase 3*), se debe basar en una elección óptima de las mismas en función de los objetivos propuestos, apoyándose en SIG y completándose con datos georreferenciados disponibles para cada una de las zonas de muestreo como: bases de datos de meteorología, cartografía elaborada con imágenes procedentes de Teledetección, Fotointerpretación o tecnología LIDAR.

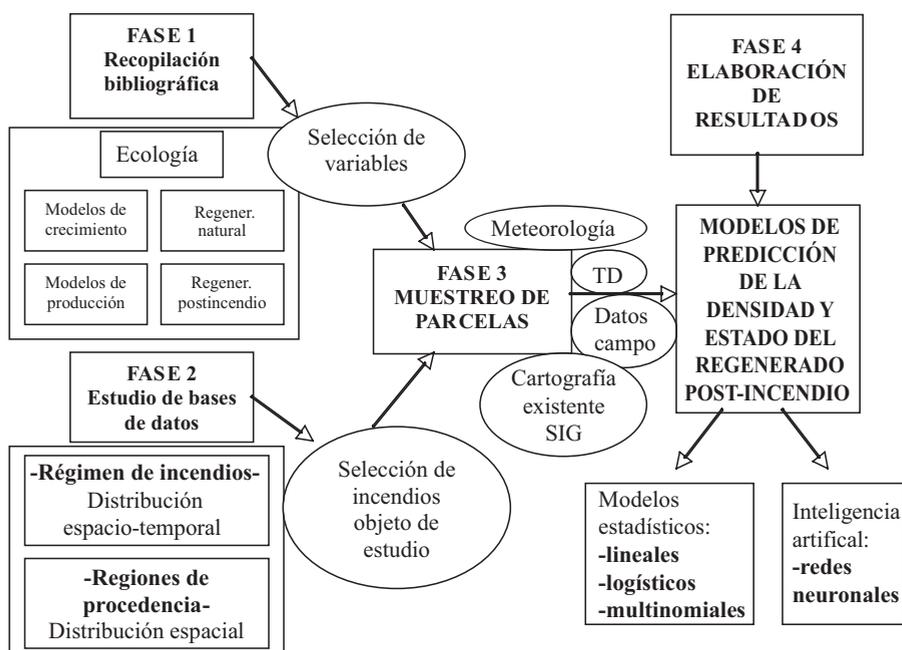


Figura 1. Esquema del trabajo de investigación propuesto para obtener modelos de predicción de la densidad y estado del regenerado de la especie arbórea estudiada (TD=Teledetección)

Limitaciones y condiciones de aplicación de los modelos

Los *modelos* basados en parcelas temporales y en el estudio de un solo incendio en una región de procedencia tienen quizás un *carácter más explicativo*, ya que se basan en los datos procedentes de una sola medición y en este sentido hay que asumir que son *modelos estáticos*, describiendo la situación del regenerado en un momento determinado en un incendio concreto. Por tanto las posibles predicciones que puedan hacerse con la aplicación de estos modelos, podrían sobre o subestimar la densidad y estado del regenerado si las condiciones meteorológicas cambian, máxime en futuros escenarios de cambio climático.

Los modelos basados en parcelas permanentes, o aquellos basados en parcelas de intervalo distribuidas por diferentes situaciones y tipos de incendios, intentan solucionar este problema espacio-temporal. En este sentido son modelos dinámicos que a su vez también tienen carácter predictivo, al incluir variables independientes que definen el espacio y el tiempo. En este caso el uso de SIG es imprescindible tanto en la elaboración como en la posterior aplicación y validación de los mismos a una muestra externa. En cualquier caso, este tipo de modelos basados en datos de parcelas tienen un carácter experimen-

tal y por tanto el rango de aplicación de los mismos determinará su validez al aplicarlos en la gestión integrada contra los incendios.

En estudios realizados en regenerado post-incendio de *Pinus pinaster* (VEGA et al., 2005) se obtuvo que los modelos lineales son más adecuados para predecir o describir el estado de la masa (altura, diámetro, esbeltez), y los modelos logísticos y multinomiales para predecir la densidad del regenerado (Tabla 1).

El rendimiento de las redes neuronales se comparó con modelos multinomiales ofreciendo buenos resultados para la predicción de la densidad. Todos los modelos clasifican entre el 60% y el 80% de los casos correctamente y la autovalidación de las redes es incluso mejor que la de los modelos estadísticos. Por otro lado, podemos comprobar que el modelo multinomial de cuatro categorías es el más equilibrado ofreciendo unos porcentajes de acierto similares (Figura 2) para las tres muestras consideradas (muestra de autovalidación, validación con una muestra externa y validación con la suma de ambas muestras).

Factores influyentes: rangos de aplicación y obtención de las variables

La obtención de las variables resultantes, de cara a la aplicación práctica de los modelos, se compondría de:

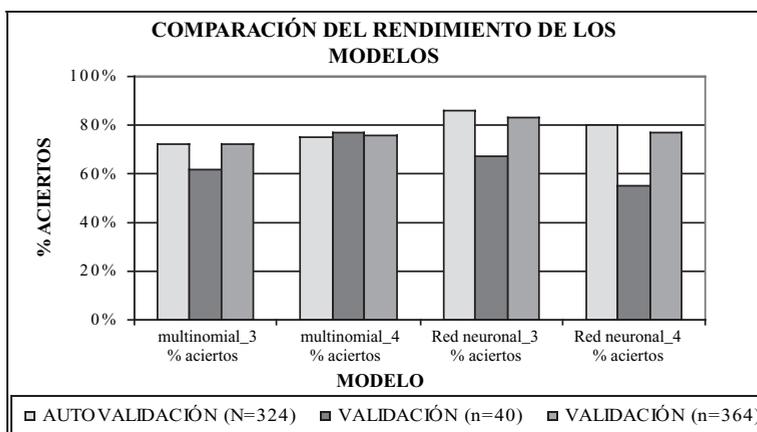


Figura 2. Comparación del rendimiento de los modelos multinomiales y las redes neuronales para categorías diferentes de clasificación de la variable dependiente densidad de regenerado de *P.pinaster*, DPP (3 y 4 categorías) y las mismas variables independientes seleccionadas. (3 categorías: categoría 1 = 0-5.000 pies-ha⁻¹, categoría 2 = 5.000-25.000 pies-ha⁻¹, categoría 3 >25.000 pies-ha⁻¹; 4 categorías: categoría 0 = sin regeneración, categoría 1 = 0-2.000 pies-ha⁻¹, categoría 2 = 2.000-25.000 pies-ha⁻¹, categoría 3 >25.000 pies-ha⁻¹)

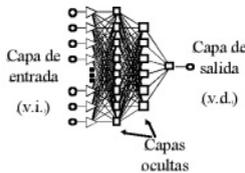
Tipo de modelo		
Modelos lineales generales $X = a + \sum b_i x_i$	Siendo: X la variable dependiente, en este caso Densidad, Altura, Diámetro, Cobertura, etc.	x_i las variables independientes seleccionadas que pueden ser continuas o categóricas a y b_i los coeficientes del modelo
Modelos logísticos $P = 1/(1+e^{-(a+\sum b_i x_i)})$ con $p=0$ ó $p=1$	Siendo: P la probabilidad de que ocurra un suceso binario de 2 categorías, en este caso, supervivencia-muerte, presencia-ausencia, abundancia-escasez, etc.	
Modelos multinomiales $P(y=j) = 1/(1+e^{-(a+\sum b_i x_i)})$ Para $j=1,2,\dots,(k-1)$ y $P(y=k)=0$	Siendo: P la probabilidad de que ocurra el suceso j de k categorías, en este caso la clasificación de la variable densidad en más de 2 categorías	
Redes neuronales (Red MLP) 	Siendo: Capa de entrada = variables independientes seleccionadas Capas ocultas = Conjunto de nodos, funciones de transferencia y funciones de salida que permiten a la red realizar el aprendizaje Capa de salida = variable dependiente	El aprendizaje se realiza por iteración desde la solución (capa de salida) hasta la capa de entrada (retropropagación). El error de entrenamiento de la red nos aconseja sobre el número máximo de iteraciones necesario para evitar que el sistema empiece a memorizar en lugar de aprender

Tabla 1. Formulación de las técnicas estadísticas y de inteligencia artificial propuestas para elaborar modelos de regeneración post-incendio

- 1) Fase de gabinete en la cual se debe recopilar toda la información cartográfica y bibliográfica existente sobre la zona para conocer variables como la geología, productividad potencial forestal, meteorología, fitoclima, fisiografía, características de la masa (serotinia, cosecha viable estimada, edad de la masa, estructura y composición), severidad del incendio (métodos basados en imágenes de satélite).
- 2) Fase de trabajo de campo en la que se tomen los datos de las variables de la microestación, como el espesor y cobertura de la capa de hojarasca y mantillo, perfil microtopográfico, humedad del sitio, suelo mineral descubierto y grados de erosión, pedregosidad,

altura y cobertura del matorral y herbáceas competidoras, todas ellas variables que han mostrado su alta significación en el proceso de regeneración. Evidentemente alguna de estas variables también pueden estimarse mediante teledetección, fotointerpretación y tecnología LIDAR, ratificando estas estimaciones con parcelas control.

Con estos datos podríamos obtener las variables de entrada que necesite el modelo (variables independientes) y calcular para cada tesela o pixel la variable de salida (variable dependiente). Los resultados serán tanto más precisos según el ajuste del modelo, la calidad de los datos y la escala de trabajo. Los modelos propuestos son experimentales y por tanto el valor

de las variables debe pertenecer al rango de las variables que han generado el modelo.

APLICACIONES DE LOS MODELOS DE REGENERACIÓN POST-INCENDIO

Aplicación de los modelos como herramienta de restauración y planificación de actuaciones en áreas incendiadas

Para ilustrar la aplicación práctica de alguno de los modelos como herramienta de gestión post-incendio se presenta un ejemplo teórico para la estimación de la densidad del regenerado de *Pinus pinaster* un año después del incendio del monte Abantos (El Escorial, Madrid) de 1999. En este caso, se realizaron inmediatamente las operaciones de saca y, posteriormente, se llevó a cabo la consiguiente repoblación para intentar recuperar la superficie afectada, intentando no afectar al regenerado natural (banquetas con retroaraña). El resultado fue desigual y, de hecho, en muchas zonas el regenerado natural ha presentado mayores tasas de supervivencia que las plantas de vivero. Por el contrario, en otras zonas el regenerado natural ha terminado desapareciendo y la repoblación ha cumplido su objetivo. Pero ¿habría sido útil una estimación de la densidad de regenerado de *P. pinaster* para proponer las medidas correctoras o planificar una restauración, allí donde las condiciones para el regenerado natural son muy limitantes? Tal y como se describe en la figura 3, probablemente los modelos propuestos en este trabajo podrían haber dado más elementos de valoración a los gestores para determinar los medios de actuación, o al menos se podrían convertir en otra herramienta más a tener en cuenta en la planificación de los trabajos.

El resultado final para el incendio de Abantos en el área de distribución de *P. pinaster* (hasta altitud 1300 m) aplicando esta metodología ofrece una zonificación bastante fiel a la regeneración natural que se ha medido en parcelas permanentes establecidas en el año 2000, y sobre todo ofrece otra capa de cartografía temática muy importante para la planificación espacio-temporal de las actuaciones.

En definitiva, la incorporación de los datos en un SIG para obtener la cartografía de salida

utilizando el modelo propuesto ofrece como resultado una zonificación de la superficie afectada en cuatro categorías de densidad que puede ayudar al gestor en la toma de decisiones. En teoría se podrían hacer estimaciones de hasta nueve años del regenerado, por tanto es posible simular diferentes escenarios según el crecimiento estimado de la vegetación, del regenerado y de los posibles efectos erosivos a medio plazo. Estas simulaciones ofrecerían mapas de “salida” en diferentes situaciones, desde la más favorable a la más desfavorable. Los mapas de probabilidad de regeneración en diferentes escenarios pueden servir de ayuda para planificar las medidas selvícolas a tomar, ya sea de apoyo al regenerado existente o, en su caso, la planificación de repoblaciones.

Se podrían elaborar cuadros de toma de decisiones como el que se muestra en la Tabla 2 o proponer soluciones basándose en técnicas multicriterio teniendo en cuenta otros factores socioeconómicos o el planteamiento de diferentes alternativas de gestión en diferentes escenarios. La inclusión de todo este proceso en un SIG podría generar un sistema de toma de decisiones aplicado al territorio de estudio. A su vez, con los resultados de las actuaciones podemos generar nuevas capas de información para poder planificar en el espacio y en el tiempo.

Aplicación de los modelos como herramienta para la planificación de medidas preventivas e integración en los planes de defensa contra incendios

En masas sometidas a alto riesgo y peligro de grandes incendios, puede interesar conocer la probabilidad de regeneración de la especie en caso de que el gran incendio tuviera lugar. Al margen de los factores dinámicos referentes a la vegetación, existen factores intrínsecos locales que permiten establecer una primera aproximación, en la que se determinarían las zonas con diferentes probabilidades de regeneración de la especie en función de la fisiografía, geología, suelo, microtopografía, humedad del sitio y características de la masa adulta (edad, cosecha viable estimada, área basal) y meteorología local, todas ellas variables disponibles mediante el uso de SIG. Sin tener en cuenta la influencia de la competencia interespecífica ni la severidad

Densidad del regenerado predicha el primer año	1-2 años tras el incendio	> 2 años tras el incendio		
		Pendiente	Competencia de matorral	Actuación selvícola propuesta
Alta (>25.000 pies/ha) Objetivo: <i>Dosificar la competencia</i>	1. No actuar y esperar a años posteriores	>30%	Sí	Clareo manual por fajas y desbroce selectivo en la entrefaja
			No	Clareo manual por fajas
	2. Desbroces selectivos para disminuir la competencia	<30%	Sí	Clareo mecanizado por fajas y desbroce manual selectivo en la entrefaja
			No	Clareo mecanizado por fajas
Media (2.000-25.000 pies/ha) Objetivo: <i>Mantener la densidad aumentando el vigor de la masa</i>	1. Desbroces selectivos para disminuir la competencia	Indiferente	Sí	Clareo manual selectivo de pies enfermos, dañados o defectuosos y desbroce de matorral
	2. No actuar y esperar a años posteriores		No	Clareo manual selectivo de pies enfermos, dañados o defectuosos
Baja (<2.000 pies/ha) Objetivo: <i>Aumentar la densidad o adecuarla a las nuevas características tras el incendio</i>	1. Desbroces selectivos para disminuir la competencia	Indiferente	Sí	1. Desbroce de matorral y densificación mediante repoblación. 2. Sustitución de especie principal en caso de rebrote de <i>Quercus</i> sp.: resalveo
	2. Densificación y enriquecimiento con otras especies Repoblación		No	1. Repoblación o densificación con <i>P. pinaster</i> como especie principal 2. Desbroce selectivo de matorral y resalveo de cepas de <i>Quercus</i> sp.: bosque mixto
Nula	Repoblación			

Tabla 2. Ejemplo de cuadro de toma de decisiones en función de las predicciones del modelo multinomial tras el incendio del monte Abantos (El Escorial, Madrid)

del incendio, que son más difíciles de predecir a priori, los demás datos nos ofrecen una base sobre la que poder, al menos, priorizar las estrategias de prevención en función de las probabilidades de regeneración de la especie o el ecosistema de interés.

Para aplicar directamente modelos de regeneración post-incendio y ofrecer una segunda aproximación mucho más precisa, necesitaríamos completar las variables referentes a las características del incendio (severidad), la dinámica de crecimiento de la especie y del resto de la vegetación competidora en la zona, y los posi-

bles efectos erosivos. Para el cálculo de la intensidad del incendio, en la actualidad existe abundante información cartográfica que permite al gestor tener datos sobre la vegetación, los modelos de combustible presentes, el modelo digital del terreno e incluso tener predicciones meteorológicas y simuladores de vientos locales. Todo ello ofrecería la posibilidad (mediante algunos de los simuladores de incendios existentes como VISUALCARDIN, FARSITE, etc. basados en SIG) de simular posibles incendios que ocurran en masas dominadas por la especie de interés. La intensidad lineal del incendio, ofrecida por

los simuladores, es una aproximación del grado de afectación de la vegetación tras el paso del fuego. La intensidad también se puede relacionar con otras variables que han resultado significativas en los modelos, de manera que el mapa de intensidades pueda ofrecer información a priori sobre la regeneración esperada.

Para ilustrarlo con un ejemplo se ha simulado con *Visual-Cardin* el incendio de Tabuyo del Monte (Sierra de Teleno, León), con las mismas condiciones en las que ocurrió en 1998 (Figura 4). En este caso se ha encontrado además una correlación significativa entre las intensidades ofrecidas por *Visual-Cardin* y algunas variables medidas en campo, como la altura y cobertura de la capa de hojarasca y mantillo y la cobertura de matorral (RODRÍGUEZ SILVA Y MADRIGAL 2005), lo que mostraría la importancia del comportamiento del fuego y la intensidad generada por el frente de avance en el lecho de germinación y en la regeneración de la vegetación tras el incendio.

Los objetivos básicos de un plan comarcal de defensa contra incendios contemplan la planificación espacio-temporal del riesgo y el peligro de incendios, y el establecimiento de las medidas preventivas, de control y extinción, proceso que en la actualidad se basa en diferentes aplicaciones SIG. La inclusión de mapas de vulnerabilidad de la vegetación y, en este caso, de probabilidad de regeneración, ofrecerían elementos de valoración a tener en cuenta para distribuir los recursos preventivos e incluso los medios de control y extinción, especialmente cuando la masa forestal posea alguna figura de protección.

Para determinadas zonas del territorio peninsular existen modelos de crecimiento de masa y de árbol individual, y se podría ofrecer una aproximación de la evolución del crecimiento de la especie a medio plazo, aunque aún no se tienen datos de cómo la degradación producida por el incendio afecta al crecimiento y la producción. Otros simuladores como el desarrollado por el CEAM de Valencia (LASS, Landscape Analysis and Simulation Shell, PAUSAS Y RAMOS 2005) permiten obtener la evolución del matorral después de los incendios bajo diferentes escenarios de intensidad y recurrencia de los fuegos. También son de aplicación los modelos hidrológicos (USLE, RUSLE) que permitirían obtener información aproximada y generar diversos

escenarios erosivos tras el incendio mediante SIG. Todas estas herramientas se pueden complementar con los modelos ofrecidos en este trabajo para intentar aproximarse a una zonificación de la posible regeneración post-incendio antes de que éste se produzca, ayudando al gestor en la planificación preventiva.

Agradecimientos

Los trabajos de investigación relacionados con la regeneración post-incendio de *Pinus pinaster* se han llevado a cabo coordinadamente entre el Departamento de Protección Forestal del CIFOR-INIA y el Departamento de Protección Ambiental del CIA-Lourizán (Xunta de Galicia) con cargo a los proyectos SC99-0018 y RTA03-205-C2, financiados por el INIA y cofinanciados con fondos FEDER, dentro de la acción "Recursos y Tecnologías Agrarias" enmarcada en el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. Agradecemos al Banco de Datos de la Dirección General de Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente las capas de información suministradas para la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLOZA, J.A. Y VALLEJO, V.R.; 2004. Integración de la restauración forestal de zonas quemadas en la planificación forestal: un ejemplo de I+D en restauración forestal. *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 17: 13-20.
- MADRIGAL, J.; 2005. *Regeneración natural de Pinus pinaster Ait. tras grandes incendios forestales: factores influyentes*. Tesis Doctoral. ETSIAM. Universidad de Córdoba. Córdoba.
- MADRIGAL, J.; HERNANDO, C. Y VEGA, J.A.; 2005. Diseño de una metodología para la obtención de modelos de regeneración de especies arbóreas tras grandes incendios forestales: aplicación al caso de *Pinus pinaster Ait.* En: S.E.C.F.-Gobierno de Aragón (eds.), *IV Congreso Forestal Español*. CD-Rom. Imprenta Repes S.C. Zaragoza.

- PAUSAS, J.G. Y RAMOS, J.I.; 2006. Landscape analysis and simulation shell (Lass). *Environ. Model. Softw.* 21 (5): 629-639.
- RODRÍGUEZ SILVA, F. Y MADRIGAL, J.; 2005. Avances técnicos y aplicaciones del simulador de incendios forestales Visual-Cardin para la reconstrucción de eventos y predicción de los efectos del fuego sobre la capa de hojarasca y mantillo y la cobertura de la vegetación. *En: S.E.C.F.-Gobierno de Aragón (eds.), IV Congreso Forestal Español.* CD-Rom. Imprenta Repes S.C. Zaragoza.
- VÉLEZ, R.; (coord) 2000. *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias.* McGraw-Hill. Madrid. pp. 1.3-22.42.
- VEGA, J.A.; HERNANDO, C.; MADRIGAL, J.; PÉREZ-GOROSTIAGA, P.; GUIJARRO, M.; FONTURBEL, T.; CUIÑAS, P.; MARTÍNEZ, E. Y FERNÁNDEZ C.; 2005. Regeneración de Pinus pinaster Ait. tras incendios forestales y medidas selvícolas para favorecerla. *IV Congreso Forestal Español. En: S.E.C.F.-Gobierno de Aragón (eds.), IV Congreso Forestal Español.* CD-Rom. Imprenta Repes S.C. Zaragoza.
- Páginas WEB de los proyectos Europeos citados:
SPREAD project <http://www.algosystem.gr/spread>
AUTO-HAZARD PRO project <http://www.autohazard.org>
FIREGUARD project <http://www.joanneum.at/dib/fireguard>
FIRESTAR project <http://www.firestar.org>
FIRE PARADOX project <http://www.fireparadox.org>.

EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LOS MODELOS DE REGENERACIÓN POST-INCENDIO

Javier Madrigal Olmo, Carmen Hernando Lara y Mercedes Guijarro Guzmán

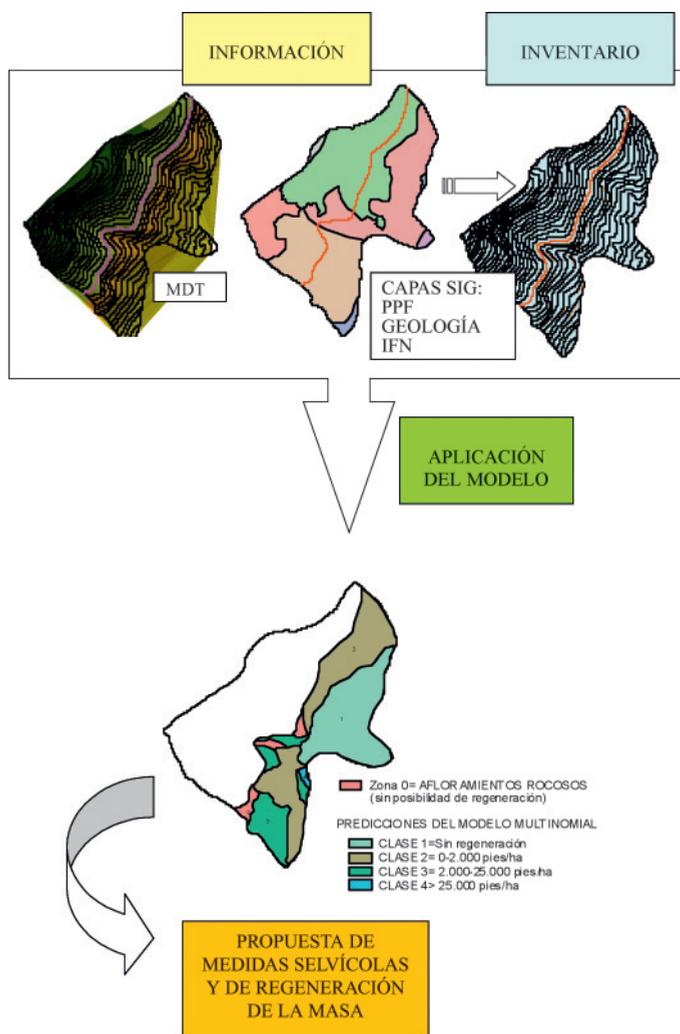


Figura 3. Fases para la aplicación de un modelo multinomial de cuatro categorías de densidad de regenerado al incendio del monte Abantos (El Escorial, Madrid)

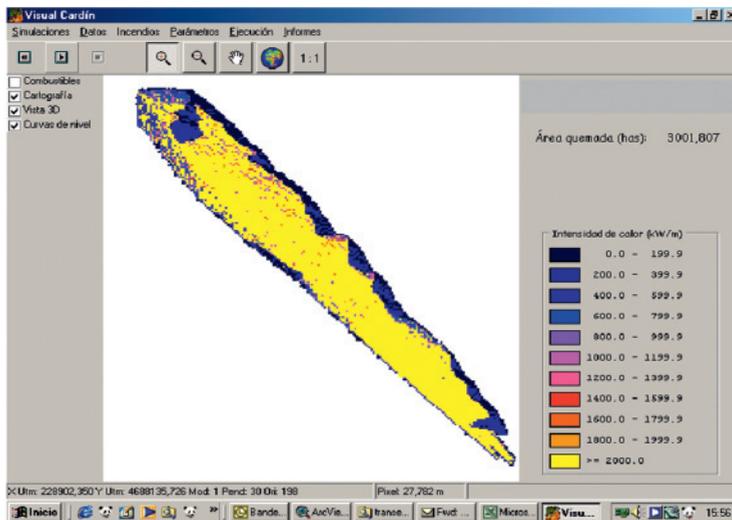


Figura 4. Ventana de salida para la intensidad lineal (kW/m) de la simulación libre del incendio de Tabuyo del Monte (Sierra de Teleno, León)