

MODELO DE RECLUTAMIENTO DE *PINUS NIGRA* DESDE MÁRGENES NO QUEMADOS EN ZONAS AFECTADAS POR GRANDES INCENDIOS

R. Molowny Horas, J.L. Ordóñez García y J. Retana Alumbrosos

Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Edificio C, Universitat Autònoma de Barcelona. 08193-BELLATERRA (Barcelona,España). Correo electrónico: roberto@creaf.uab.es, jlordonez@creaf.uab.es, javier.retana@uab.es

Resumen

Se ha desarrollado un modelo de simulación para estimar la distribución de plántulas de *Pinus nigra* que consiguen establecerse al cabo de 30 años en una zona incendiada, a partir de la dispersión de semillas desde los árboles no quemados situados en los márgenes del incendio. El modelo integra los datos empíricos obtenidos para los diferentes procesos implicados en los estadios de semilla y plántula. El algoritmo de Montecarlo genera un gran número de escenarios o posibilidades distintas de establecimiento de plántulas, a partir de una distribución determinada de árboles en una parcela, y presenta los resultados en forma de valores promedio e intervalos de confianza para las distribuciones resultantes. Se ha llevado a cabo una comparación entre resultados de la simulación y datos de campo que demuestran que nuestro modelo es capaz de estimar adecuadamente la distribución de plántulas establecidas en la zona incendiada.

Palabras clave: Simulación, Regeneración, Plántulas, Bosque mediterráneo

INTRODUCCIÓN

El modelo de simulación integra los datos empíricos obtenidos para los diferentes procesos implicados en los estadios de semilla y plántula (producción y depredación pre-dispersión de piñas; producción, dispersión, depredación post-dispersión y germinación de piñones; y establecimiento de plántulas), para simular el reclutamiento a diferentes distancias del margen no quemado durante un periodo de tiempo arbitrario, típicamente 30 años después del fuego. Se ha escogido este periodo de tiempo porque es el que requiere para que se empiece a cerrar la cubierta en bosques mediterráneos perturbados (TRABAUD, 1994, ESPELTA et al., 1995), y toda-

vía no intervengan procesos de competencia intra e interespecífica entre individuos adultos. A continuación se describen el modo de obtención y características de las bases de datos, el funcionamiento del modelo de simulación, y la validación y aplicación del mismo.

BASES DE DATOS

A partir de toda la información de campo que se ha podido recopilar acerca del proceso de regeneración de *Pinus nigra*, se han elaborado una serie de vectores y funciones que permiten parametrizar las diferentes fases del proceso, desde la producción de las piñas en el árbol

hasta el establecimiento de las plántulas en el terreno.

Producción de piñas

La información de la producción de piñas por árbol se obtuvo en los tres márgenes del incendio del Bages-Solsonés (13949 ha quemadas en 1998; 41° 45' a 41° 59' N, 1° 22' a 1° 40' E). En total se etiquetaron 68 árboles no afectados por fuego de copa, y de cada uno de los cuales se contó el número de piñas cerradas por árbol antes de la época de dispersión en 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003. Los recuentos obtenidos se contrastaron teniendo en cuenta cinco clases diamétricas (5, 10, 15, 20 y 25 o más cm, donde los números indican el inicio de la clase).

Depredación de piñas predispersión

Con una periodicidad quincenal, se llevó a cabo un seguimiento fotográfico de 15 árboles desde una perspectiva fija y se observó la desaparición de las piñas desde su formación hasta el final de la época de dispersión de los piñones, del otoño de 1999 hasta el invierno de 2000.

Número de piñones por piña

La cantidad de piñones viables que contenían las piñas de *P. nigra* se obtuvo a partir de datos cedidos por Abdessamad Habrouk (HABROUK *et al.*, 1999).

Dispersión de piñones

Se seleccionaron tres localidades en tres zonas de los incendios del Bages-Berguedà (1994) y del Bages-Solsonès (1998). El número de semillas caídas en cada una de las bandejas situadas a diferentes distancias dentro de la zona

quemada se ajustó a una función exponencial decreciente $f(r)=ke^{-kr}$, donde r representa la distancia hasta el punto considerado y k es una constante ($=0,043633$, según ajuste logarítmico lineal a los puntos observados, con $R=0,97$; $p<0,001$).

Depredación de piñones postdispersión

Mediante los dispositivos descritos en ORDÓÑEZ (2004) se evaluó la depredación postdispersión de los piñones en tres escenarios de 1, 5 y más de 70 años transcurridos desde el último incendio. Con el propósito de integrar la depredación durante todo el periodo de disponibilidad de las semillas para la regeneración, se sumaron los valores de depredación de los tres grupos de predadores y posteriormente se promediaron los valores a lo largo del periodo de dispersión.

Germinación de piñones

Se asoció la edad del incendio (x) a una cobertura vegetal (herbácea + arbustiva) sobre la superficie quemada (y) mediante el ajuste de la curva $y=1,306e^{-0,442664x}$ ($R=0,98$; $p<0,001$), con datos de transectos de vegetación en diferentes zonas quemadas transformados a arcosen raíz cuadrada. Las tasas de germinación en función de la cobertura vegetal se obtuvieron a partir del experimento de condiciones controladas para cinco grados diferentes de cobertura (desde 9% hasta 80%). La curva de germinación (y) vs. cobertura (x) obtenida a partir de datos de campo fue $y=0,989978 \cdot e^{-2,8083x}$ ($R=0,79$; $p<0,001$). De este modo, se pudo asociar a cada escenario de campo, es decir, a cada edad desde el incendio una probabilidad de germinación.

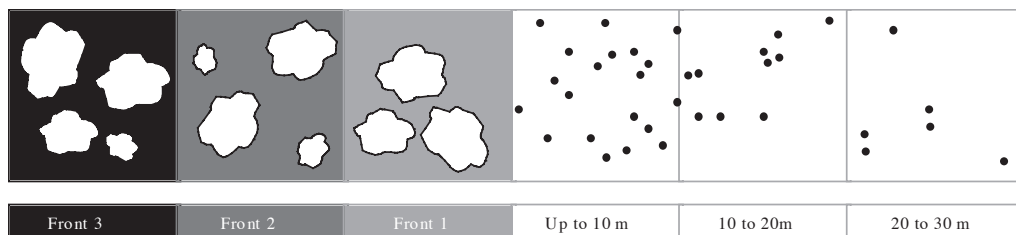


Figura 1. Esquema en vista aérea de la distribución espacial de cada uno de los elementos del modelo. Los 3 rectángulos a la izquierda muestran una posible disposición de los árboles dentro de las parcelas del margen. Los cuadrados sombreados representan la subdivisión de la parcela arbolada en tres frentes de 10 x 10 m². Los cuadros blancos de la derecha representan la subdivisión del transecto en franjas de 10 x 10 m² hacia el interior de la zona quemada, y los puntos en su interior representan una posible distribución de plántulas

Establecimiento de las plántulas

Los resultados obtenidos para el establecimiento de las plántulas en la zona quemada no permitieron distinguir claramente una relación entre el tipo de escenario y la proporción de plántulas establecidas, por lo que se utilizó un único vector de probabilidades de establecimiento en las diferentes parcelas colocadas en los diferentes escenarios.

Crecimiento anual de los árboles

A partir de datos procedentes del IEFC (GRACIA *et al.*, 2000), se formalizó un vector de entre 139 y 576 valores de crecimiento anual en DN (diámetro normal) para cada clase diamétrica presente (por tanto, un total de cinco vectores).

FUNCIONAMIENTO DEL MODELO

Las técnicas de Montecarlo utilizadas en este trabajo permiten generar un gran número de simu-

laciones de regeneración de plántulas, desde la producción de piñas en el árbol hasta su germinación y establecimiento en la zona incendiada. En cada uno de los pasos de la simulación cada uno de los procesos puede tomar un valor seleccionado al azar de la distribución empírica correspondiente a ese mismo proceso. Esto produce, al cabo de cada ciclo completo de 30 años, una situación final posible de plántulas establecidas a lo largo del transecto escogido dentro de la zona incendiada. La repetición de este proceso para un número muy alto de ciclos o simulaciones nos permite obtener una distribución de situaciones o escenarios posibles (para una descripción más detallada del algoritmo, véase ORDÓÑEZ, 2004).

La estructura del modelo parte de una situación inicial en la que se define el tamaño de cada árbol de una parcela de 10 x 30 m² que constituye la fuente de regeneración en el límite del incendio. Para ponderar la contribución de cada árbol a la regeneración de la zona quemada dependiendo de

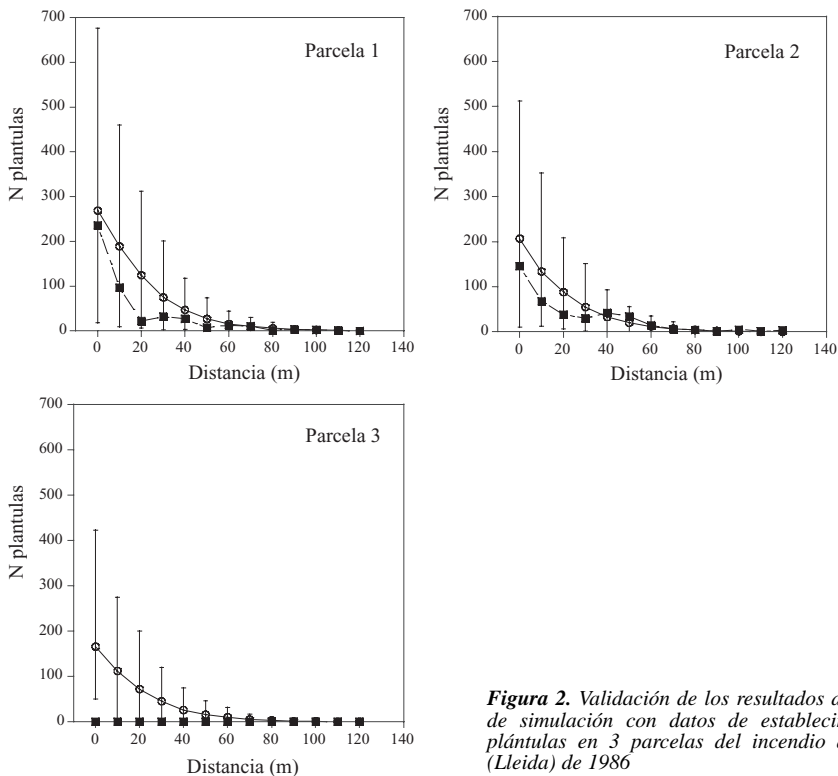


Figura 2. Validación de los resultados del modelo de simulación con datos de establecimiento de plántulas en 3 parcelas del incendio de Oliana (Lleida) de 1986

su ubicación dentro de la parcela, la parcela se ha subdividido en tres franjas de 10 x 10 m².

VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Con el objeto de comprobar la validez del modelo, se muestrearon seis parcelas correspondientes a límites del incendio de Oliana (42° 2' a 42° 5' N y 1° 19' a 1° 21' E) que en 1986 afectó a 623 ha previamente ocupadas por bosques de *Pinus nigra*. Se incluyó un nuevo módulo en el algoritmo del modelo de simulación para decrecer el DN de cada uno de los árboles hasta el año 1986, escogiendo cada vez un valor aleatorio de crecimiento para la clase diamétrica correspondiente. De esta manera se pudieron generar diferentes escenarios iniciales de DN para cada uno de los árboles de las parcelas elegidas. A continuación se eligió el DN resultado medio de cada árbol como la situación de partida más probable en el año 1986, y se introdujeron las parcelas así

definidas en el modelo de simulación descrito en la sección anterior, para de esta manera obtener la distribución de plántulas establecidas en función de la distancia desde el margen del incendio. Los resultados de la simulación, así como los valores obtenidos en 3 de las parcelas reales, se muestran en la figura 2. En los casos de las parcelas 1 y 2 los resultados del modelo de simulación predicen satisfactoriamente el establecimiento de plántulas observado. En el caso de la parcela 3, por otra parte, el número de plántulas establecidas es muy bajo y en clara discrepancia con las previsiones del modelo, lo que apunta a una depredación muy intensa por parte de herbívoros o a un tipo de suelo poco apto para la germinación de piñones.

APLICACIÓN

Para determinar qué tipo de escenarios predice nuestro modelo como los más probables al

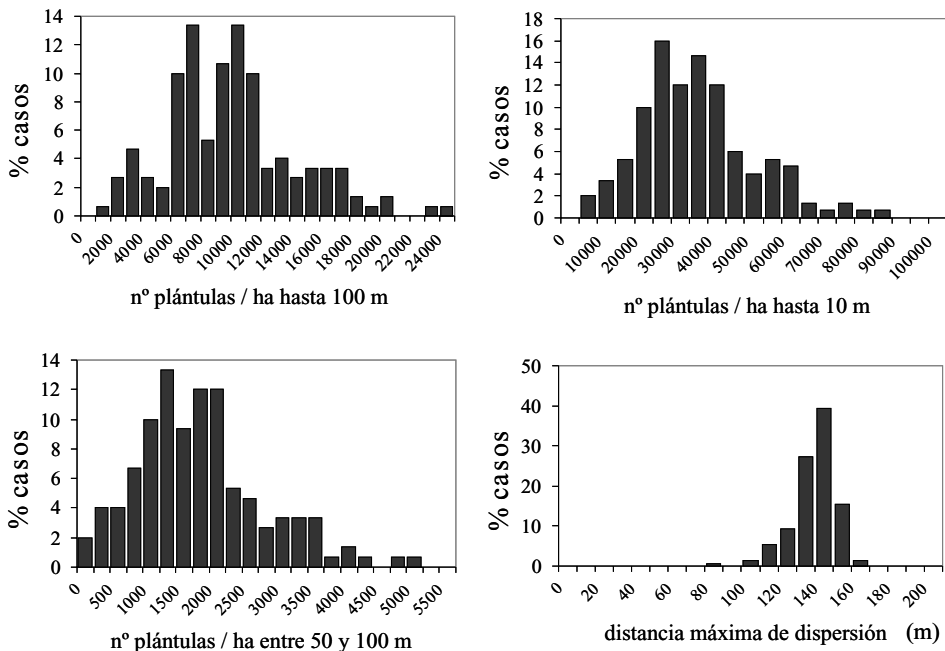


Figura 3. Histogramas de resultados de la simulación para los incendios del Bages-Berguedà y Bages –Solsonès (ver texto). De izquierda a derecha y de arriba abajo: densidad de plántulas establecidas en los primeros 100 metros de la zona incendiada; densidad de plántulas establecidas en los primeros 10 metros; densidad de plántulas establecidas entre 50m y 100m desde el margen del incendio; y distancia máxima de dispersión

cabo de 30 años, hicimos una segunda simulación con datos reales procedentes de 68 parcelas arboladas ubicadas a menos de 1 km alrededor del límite del incendio del Bages-Berguedà de 1994 y otras 67 alrededor del incendio del Bages-Solsonès de 1998, disponibles en la base de datos del IEF (GRACIA *et al.*, 2000). En cada parcela aplicamos el módulo de crecimiento de los árboles hacia adelante o hacia atrás, dependiendo de si la fecha de muestreo de la parcela era anterior o posterior al incendio, y generamos así una situación de partida. Con estos datos, simulamos 1000 veces la regeneración a 30 años y analizamos la distribución media de los valores obtenidos.

Las frecuencias relativas obtenidas indican una distribución variable de la densidad de plántulas establecidas entre 0 m y 100 m, alrededor de las 10000 plántulas por ha, con un amplio rango que va de 2000 a 25000 pies por ha (Figura 3). Una distribución similar se encuentra para la densidad de plántulas en los primeros 10 m y para la densidad de plántulas a más de 50 m. Sin embargo, los resultados para la distancia máxima de dispersión muestran una distribución de las frecuencias con un rango más estrecho cercano al límite de 120 m.

CONCLUSIONES

Hemos llevado a cabo la simulación comparando las distribuciones simuladas con datos recogidos en los escasos incendios que hemos podido encontrar. Los resultados indican que en muchos casos los valores obtenidos en el campo están dentro de los límites que definen el 90% de las simulaciones obtenidas con el modelo. En particular, las densidades de plántulas a partir de

40 m se simulan perfectamente, y sólo se sobrevaloran ligeramente las plántulas a las distancias más cercanas del margen.

Este estudio muestra que es posible calibrar un modelo numérico que simule el reclutamiento de una especie arbórea a partir de la información disponible para los distintos procesos, incluso cuando las bases de datos disponibles no tengan grandes series temporales o espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

- ESPELTA, J.M.; RIBA, M. & RETANA, J.; 1995. Patterns of seedling recruitment in West Mediterranean *Quercus ilex* forests influenced by canopy development. *J. Veg. Sci.* 6: 465-472.
- GRACIA, C.; BURRIEL, J.A.; IBÁÑEZ, J.J.; MATA, T. & VAYREDA, J.; 2000. *Inventari ecològic i forestal de Catalunya. Regió forestal IV*. Publicacions del Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals. Barcelona.
- HABROUK, A.; RETANA, J. & ESPELTA, J.M.; 1999. Role of heat tolerance and cone protection of seeds in the response of three pine species to wildfires. *Plant Ecology* 145: 91-99.
- ORDÓÑEZ, J.L.; 2004. *Análisis y modelización del reclutamiento de *Pinus nigra* después de grandes incendios*. Tesis Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona.
- TRABAUD, L.; 1994. Postfire plant community dynamics in the Mediterranean Basin. In: J. M. Moreno y W.C. Oechel (eds.), *The Role of Fire in Mediterranean Type Ecosystems*: 1-15. Springer-Verlag. New-York.