

MODELIZACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LA MADERA MUERTA EN PINARES DE *PINUS SYLVESTRIS* L.

F. Montes Pita, I. Cañellas Rey de Viñas y G. Montero González

CIFOR. INIA. Ctra. A Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España). Correo electrónico: fmontes@inia.es

Resumen

El objetivo de este trabajo es el de desarrollar un modelo que integre los procesos de aporte y degradación de la madera muerta en pinares regulares de pino silvestre de la Sierra de Guadarrama. Para ello se midió la madera muerta presente en las diferentes clases de edad a lo largo del turno, clasificándola según el elemento estructural de que se trate y el estado de descomposición. El modelo desarrollado permite predecir los efectos de los tratamientos selvícolas sobre la dinámica de la madera muerta para estos pinares.

Palabras clave: *Modelización de procesos ecológicos, Diversidad estructural, Sierra de Guadarrama*

INTRODUCCIÓN

La madera muerta es un componente de los ecosistemas forestales que ha despertado un creciente interés en los últimos años, puesto que es un elemento clave del ciclo de nutrientes y constituye el habitat de muchas especies, por lo que es fundamental en la conservación de la biodiversidad de los ecosistemas forestales (HARMON *et al.*, 1986, MACKENSEN & BAUHUS, 1999). El objetivo de este estudio es profundizar en el conocimiento de la dinámica de la madera muerta en los pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y los efectos de la selvicultura sobre la misma.

MATERIAL

Las mediciones se han realizado en parcelas de 0.5 ha distribuidas una por cada clase de edad tanto en el monte de Valsaín como en el de Navafría, situados en la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama, en rodales regulares de *Pinus sylvestris*.

La madera muerta se ha clasificado en función del elemento morfológico de que se trate y tamaño del mismo: leñas de diámetro en el punto medio mayor de 10 cm, leñas con diámetro en el punto medio menor de 10 cm y mayor de 5 cm y tocones de más de 30 cm de diámetro

Estado de descomposición	Características observables “de visu”
I	No se desprende la corteza
II	La corteza se desprende pero se conserva el 50%
III	Se conserva menos del 50% de la corteza
IV	No hay corteza, la superficie externa está blanda y se deshace con la mano
V	La superficie está muy deteriorada o está totalmente cubierta de musgo

Tabla 1. Características observables utilizadas para clasificar la madera muerta en estados de descomposición

en la sección de corte y 5 estados de descomposición (Tabla 1), definidos a partir de características observables (PYLE & BROWN, 1998; SIITONEN et al., 2000). El volumen de las leñas se ha estimado a partir de la longitud y diámetro en el punto medio (GROVE, 2001), mientras que los tocones de más de 30 cm de diámetro se han cuantificado mediante el número de tocones.

MÉTODOS

Proceso de aporte de madera muerta

En los montes gestionados el proceso de aporte de los diferentes tipos de madera muerta suele estar ligado a las prácticas selvícolas que se realizan. Los aportes continuos en masas regulares parecen mostrar un comportamiento unimodal. Se ha probado la función de Weibull, cuya flexibilidad la hace muy adecuada para describir este fenómeno:

$$V_t = \frac{c_w}{b_w} \cdot \left(\frac{t - t_w}{b_w} \right)^{c_w - 1} \cdot e^{-\left(\frac{t - t_w}{b_w} \right)^{c_w}}$$

V_t es el volumen (o biomasa) de cierto tipo de madera muerta que se incorpora en el momento t , t_w es el momento en el que comienza el proceso de aporte y b_w y c_w son parámetros que controlan la forma de la curva.

Los aportes originados por grandes perturbaciones, como vendavales, cortas de regeneración o claras se han considerado instantáneos.

Proceso de descomposición

La cantidad de madera muerta en un determinado estado de descomposición tras una corta o una perturbación natural describe una distribución en forma de campana de Gauss asimétrica con la moda a la izquierda de la media (RANIUS et al., 2003), parecida a una distribución lognormal. La cantidad total de madera muerta es la suma de la cantidad en cada uno de los estados de descomposición. Se ha utilizado la función Richards-Chapman, también denominada lag-time (HARMON et al., 1986), para modelizar la cantidad de madera muerta existente en cada uno de los estados de descomposición en cada momento:

$$V_i = V_0 - V_0 \cdot K_i \cdot \left(1 - e^{-b_{ri} \cdot t} \right)^{c_{ri}}$$

donde V_i es volumen (o biomasa) en el estado de descomposición i , V_0 es el volumen (o biomasa) inicial, K_i es una constante que determina la posición de la asíntota horizontal ($K_i > 1$, hace que la curva corte al eje del tiempo), t es el tiempo transcurrido desde el comienzo del proceso de descomposición y b_{ri} y c_{ri} son parámetros que determinan la forma de la curva. La diferencia entre dos curvas contiguas es una campana de Gauss asimétrica que describe la distribución en el tiempo de la cantidad de madera muerta en el estado que queda entre ambas.

Integración del proceso de aporte y el proceso de descomposición

La cantidad de madera muerta en un determinado momento es la suma de la madera muerta procedente de los diferentes aportes a lo largo del ciclo de la masa. En el caso de aportes continuos, siguiendo una distribución de Weibull, la madera acumulada el año t en el estado i se puede calcular mediante la siguiente suma:

$$V_{it} = \sum_{t_0=t_w}^t \frac{c_w}{b_w} \cdot \left(\frac{t_0 - t_w}{b_w} \right)^{c_w - 1} \cdot e^{-\left(\frac{t_0 - t_w}{b_w} \right)^{c_w}} \cdot \left(1 - K_i \cdot \left(1 - e^{-b_{ri}(t-t_0)} \right)^{c_{ri}} \right)$$

t_w , b_w y c_w deben ser constantes para cualquier estado i , mientras b_{ri} y c_{ri} son diferentes para cada estado de descomposición.

En el caso de aportes instantáneos el proceso de descomposición posterior se ha modelizado directamente mediante la función lag-time.

El modelo teórico se ha ajustado a los datos mediante un proceso iterativo, minimizando la suma de residuos al cuadrado entre las cantidades observadas en cada estado de descomposición para la edad media de cada parcela y la cantidad predicha con el modelo.

RESULTADOS

La distribución de las leñas mayores de 10 cm de diámetro obtenida a partir de las parcelas experimentales en las sucesivas clases de edad en Navafría refleja los efectos de una selvicultura intensiva. Dos parcelas presentan una acumulación grande de restos de corta, 13,50 m³ en la parcela correspondiente a la clase de edad en

torno a los 60 años, de los cuales el 74% pertenece a los estados de descomposición IV y V, y 12,97 m³/ha en la clase de edad en torno a los 100 años, de los cuales el 95% pertenecen a los estados de descomposición I, II y III. En la parcela con edades comprendidas en torno a los 20 años queda cierta cantidad de madera muerta en los estados de descomposición más avanzados, mientras que el resto de parcelas presentan unos niveles muy bajos de leñas gruesas. En la figura 1 se pueden observar en la parte superior, a la izquierda, las transiciones entre los diferentes estados de descomposición y, a la derecha, la probabilidad asociada cada estado de descomposición a lo largo del proceso de descomposición, para las leñas gruesas en Navafría. El modelo se ha ajustado suponiendo que los restos de corta constituyen el único aporte.

Las leñas de diámetro comprendido entre los 5 y los 10 cm muestran en las parcelas experimentales de Navafría un máximo en la clase de edad de 100 años (30,28 m³/ha), mientras que el nivel mínimo es el correspondiente a la clase de edad de 80 años. En la parte inferior de la figura 1 se presenta representado el proceso de descomposición de las ramas finas modelizado para Navafría.

En Navafría la distribución del número de tocones de diámetro mayor de 30 cm presenta un máximo a los 100 años (un total de 194 tocones/ha, la mayor parte en los estados de descomposición I y II) y otro a los 60 años. En la parcela correspondiente a la clase de edad de 20 años solo se han encontrado los tocones que quedan de las cortas de regeneración, ya en avanzado estado de descomposición, y en la clase de edad de 40 años estos ya han desaparecido. En la figura 2 se muestra la distribución temporal de los tocones en diferentes estados de descomposición y el proceso de aportes (se ha supuesto que a los 55 años se cortan 70 árboles que den lugar a tocones de más de 30 cm de diámetro, a los 61 años 55 tocones, 30 tocones a los 67 años, 220 tocones a los 97 años y 105 a los 148 años). En Valsain se han encontrado tocones en todos los estados de descomposición en todas las parcelas, dando lugar a una distribución mucho más continua en el tiempo, variando entre 182 y 52 tocones/ha. La distribución obtenida suponiendo un proceso de aporte continuo, descrito mediante la función Weibull, se puede observar en la figura 2.

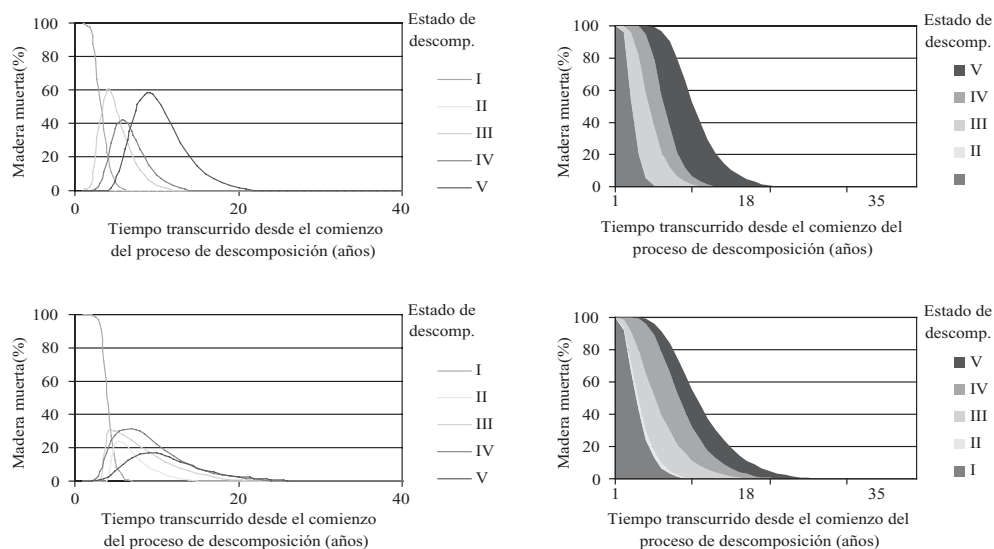


Figura 1. Proceso de descomposición de las leñas de más de $d > 10$ cm (arriba) y para las leñas de $5 \text{ cm} < d < 10 \text{ cm}$ (abajo) (siendo d el diámetro en el punto medio) en Navafría: a la derecha, las transiciones entre los diferentes estados de descomposición; a la izquierda, la probabilidad asociada cada estado de descomposición a lo largo del proceso de descomposición

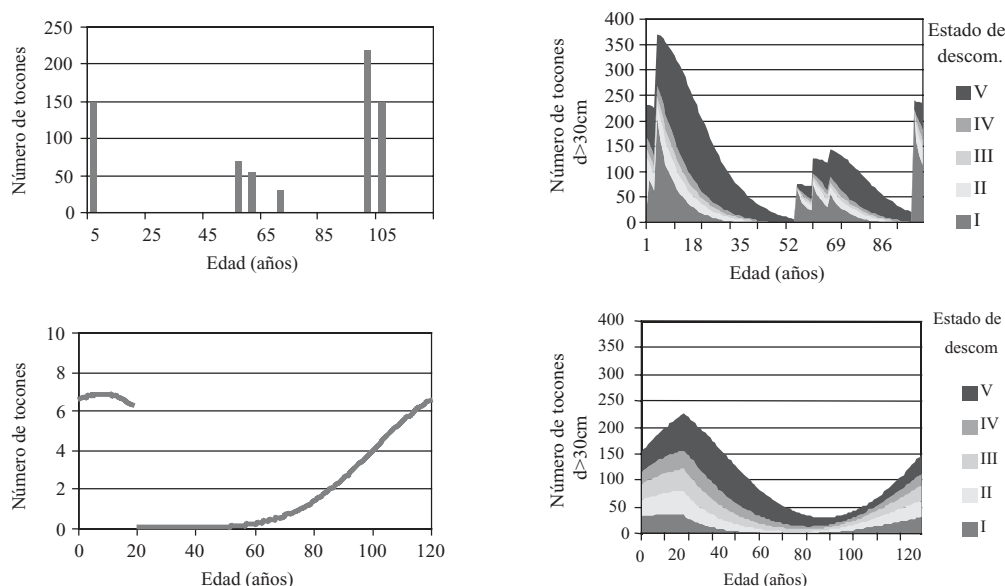


Figura 2. Proceso de aportes (a la izquierda) y modelo ajustado a la dinámica temporal (a la derecha) de los tocones de más de 30 cm de diámetro en la sección de corte en el Pinar de Navafría (arriba) y en el Pinar de Valsain (abajo)

DISCUSIÓN

Hay numerosos trabajos describen mediante una curva en forma de “U” la variación de la cantidad de madera muerta con la edad de la masa (STURTEVANT *et al.*, 1997). En los pinares estudiados en este trabajo este comportamiento solo se ha encontrado en ciertos tipos de madera muerta, mientras que en otros tipos las prácticas selvícolas han dado lugar a una dinámica caracterizada por la acumulación de restos de corta tras los tratamientos y un aporte muy pequeño durante ciertos periodos. Por otra parte, algunos elementos característicos de bosques no gestionados, como son los troncos muertos que permanecen en pie o los grandes árboles caídos, han sido reemplazados por otros como los tocones, frecuentes en masas gestionadas.

La mayor parte de las leñas caídas en Navafría son el resultado de las claras y las cortas de regeneración. El aporte natural de leñas es escaso por la realización de podas y el intensivo régimen de claras que se aplica. Esto da lugar a las distribuciones temporales de la madera en diferentes estados de descomposición observadas, con grandes altibajos. En Valsain, donde las

cortas de regeneración se realizan de forma más gradual y el régimen de claras es menos intensivo, hay un aporte de tocones proveniente de la masa vieja residual durante los primeros estadios de desarrollo de la nueva masa, lo que da lugar a un proceso de aporte que se puede suponer prácticamente continuo. La extracción de leñas podría ser la causa de los bajos niveles de este tipo de madera muerta encontrados en Valsain, mucho menores que en Navafría, con un máximo de 6,10 m³/ha para leñas gruesas y 10,20 m³/ha para leñas finas en la clase de edad de 60 años (MONTES *et al.*, 2003).

Los resultados indican que el proceso de descomposición difiere bastante de unos tipos de madera muerta a otros, y que no es exactamente igual para el mismo tipo de madera muerta en los dos montes estudiados. Esto podría deberse a la mayor frecuencia de intervenciones selvícolas en Navafría, que conllevan la destrucción de parte de la madera muerta acumulada, lo que daría lugar a una reducción de la duración del proceso de descomposición (RANIUS *et al.*, 2003). La proporción de madera muerta en el estado de descomposición V es menor que lo que cabría esperar por otros estu-

dios (GROVE, 2001), en parte por el tamaño relativamente pequeño de madera muerta encontrada y, por otra parte, por la dificultad para detectar restos en estado de descomposición muy avanzado cubiertos de musgo y hojarasca (SPETICH *et al.*, 2002).

El modelo exponencial, frecuentemente usado cuando se modeliza el proceso de descomposición en términos de biomasa (MACKENSEN & BAUHUS, 1999) es menos indicado que el modelo propuesto para describir el proceso de descomposición para cantidades estimadas en volumen o número de unidades (HARMON *et al.*, 1986). El modelo propuesto nos da información acerca de la presencia de los diferentes tipos de madera muerta en los diferentes estados de descomposición a lo largo del ciclo de la masa forestal. La importancia de esta clasificación cualitativa reside en que los organismos asociados a la madera muerta lo están normalmente a determinados elementos y tamaños (JONSELL *et al.*, 1998), y generalmente en ciertos estados de descomposición (SÖDERSTRÖM, 1988). Algunos modelos usados para describir la dinámica temporal de la madera muerta incorporan variables que miden el efecto de factores del medio físico o ecológicos (YIN, 1999) y obtienen los resultados mediante un proceso de simulaciones estocásticas (TINKTER & KNIGHT, 2001; RANIUS *et al.*, 2003). Una ventaja del modelo propuesto es el uso de una única función para describir un proceso complejo y con numerosas interacciones entre los factores que intervienen, como pueden ser los procesos de mortalidad, la densidad de la masa o diferentes factores climáticos; la relación entre las variaciones de estos factores y los parámetros del modelo podría ser utilizada para mejorar la aplicación del modelo y la comprensión de la dinámica de la madera muerta. Para ello lo más indicado sería un diseño experimental basado en parcelas permanentes en las que se midiesen con precisión los aportes y el proceso de descomposición de leñas y tocones de diferentes tamaños. El diseño experimental utilizado está orientado a analizar la dinámica de la madera muerta a lo largo del ciclo de la masa, pero no es el más adecuado para hacer un ajuste preciso de los parámetros del modelo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a J. Donés y J. C. Martín la ayuda prestada, y a los que han colaborado en la toma de datos: R. Calama, A. Bachiller, D. Martín, S. Roig, M. del Río y E. Garriga. Este estudio a sido financiado por el proyecto AGL2000-1545.

BIBLIOGRAFÍA

- GROVE, S.J.; 2001. Extent and composition of dead wood in Australian lowland tropical rainforest with different management histories. *For. Ecol. Manage.* 154: 35-53.
- HARMON, M.E.; FRANKLIN, J.F.; SAWNSON, F.J.; SOLLINS, P.; GREGORY, S.V.; LATTIN, J.D.; ANDERSSON, N.H.; CLINE, S.P.; AUMEN, N.G.; SEDELL, J.R.; LIENKAEMPER, G.W.; CROMACK, K. & CUMMINS, K.W.; 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Adv. Ecol. Res.* 15: 133-302.
- JONSELL, M.; WESLIEN, J. & EHNSTRÖM, B.; 1998. Substrate requirements of red-listed saproxylic invertebrates in Sweden. *Biodiv. Conserv.* 7: 749-764.
- MONTES, F; CAÑELLAS, I.; MONTERO, G.; 2003. *Characterisation of coarse woody debris in Scots pine forests*. "IUFRO Conference on Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe -From ideas to operationality". Florencia.
- PYLE, C. & BROWN, M.M.; 1998. A rapid system of decay classification of hardwood logs of the eastern deciduous forest floor. *J. Torrey Bot. Soc.* 125: 237-245.
- RANIUS, T.; KINDVALL, O.; KRUYIS, N. & JONSSON, B.G.; 2003. Modelling dead wood in Norway spruce stands subject to different mangement regimes. *For. Ecol. Manage.* 182: 13-29.
- SIITONEN, J.; MARTIKAINEN, P.; PUNTTILA, P. & RAUH, J.; 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and old-growth boreal mesic forests in southern Finland. *For. Ecol. Manage.* 128: 211-225.
- SÖDERSTRÖM, L.; 1988. Sequence of bryophytes and lichens in relation to substrate variables of decaying coniferous wood in northern Sweden. *Nord. J. Bot.* 8: 89-97.

- STURTEVANT, B.R.; BISSONETTE, J.A.; LONG, J.N. & ROBERTS, D.W.; 1997. Coarse woody debris as a function of age, stand structure, and disturbance in boreal Newfoundland. *Ecol. Appl.* 7: 702-712.
- TINKTER, D.B. & KNIGHT, D.H.; 2001. Temporal and spatial dynamics of coarse woody debris in harvested and unharvested lodgepole pine forests. *Ecol. Model.* 141: 125-149
- YIN, X.; 1999. The decay of forest woody debris. *Oecologia.* 121: 81-98