

**ANÁLISIS NO DETERMINISTA DEL TURNO ÓPTIMO EN PLANTACIONES DE
EUCALYPTUS GLOBULUS LABILL**

Díaz-Balteiro, L. ^{1*}; Rodríguez, L. C. E. ^{2*}

¹ Departamento Economía y Gestión Forestal. ETS Ingenieros de Montes.
Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid

² Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Av. Pádua Dias, 11 CP9,
Piracicaba, SP 13418-900 (Brasil).

*Autores para la correspondencia: luis.diaz.balteiro@upm.es, lcer@esalq.usp.br

Boletín del CIDEU 3: 139-137 (2007)

ISSN 1885-5237

Resumen

El método de beneficio de monte bajo habitualmente utilizado para el manejo de plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill conduce a un problema de optimización conjunto: el gestor debe elegir el turno óptimo en cada rebrote, y el número óptimo de rebrotes hasta que se vuelva a replantar. Esta circunstancia obliga a utilizar métodos como la programación dinámica para obtener la solución óptima. En este trabajo se presenta la metodología apropiada para resolver este problema incluyendo diversos supuestos en cuanto a los outputs e inputs esperados en cada horizonte de planificación. Por otro lado, dado que algunas de las variables y parámetros empleados en el análisis están sujetos a fluctuaciones evidentes (precio de la madera, tasa de descuento, etc.), se ha optado por integrar en el modelo una simulación de tipo Monte Carlo, con el fin de calcular la duración óptima de los diversos ciclos tomando estas variables como estocásticas. Al aplicar esta metodología a plantaciones de esta especie en Galicia se observa cómo en ningún caso la solución óptima consiste en repetir el mismo turno empleado en la parte del ciclo correspondiente al monte alto en los sucesivos rebrotes. Por último, la duración óptima del ciclo nunca incluye más de 2 rebrotes.

Palabras clave: Programación dinámica; Turno óptimo; *Eucalyptus*; Plantaciones;

Summary

Non-deterministic optimal rotations on *Eucalyptus globulus* plantations

The coppice regeneration method used to manage eucalypts leads to a simultaneous optimization problem: the manager has to simultaneously define the optimal age in each coppice rotation and the optimal number of coppice rotations for each plantation full cycle. The dynamic nature of the problem obliges managers to use methods like dynamic programming in order to achieve the best solution. When carbon sequestration is included in the analysis, the land expectation value and the optimal rotations are different from the initial context. The purpose of this paper is to analyze the influence in the optimal set of coppice rotations when the inherent risk of some variables and parameters is included in the analysis. Thus, a Monte Carlo simulation was used in order to obtain the variation in the land expectation value and in the optimal rotations in *Eucalyptus globulus* Labill. plantations in Spain

Keywords: Optimal rotation, Dynamic programming, Monte Carlo simulation, *Eucalyptus*

Introducción

La aplicación de la teoría del turno económicamente óptimo a los sistemas selvícolas basados en el monte bajo no ha sido tratada con demasiada profusión en la literatura forestal, aunque a diferencia de las masas que no rebrotan de cepa o de raíz, es preciso calcular tanto la duración de cada rebrote como el número de ellos que optimizan el rendimiento financiero del propietario.

En uno de los primeros trabajos que han abordado este problema Medema y Lyon (1985), a partir de la solución de Faustmann, plantean un procedimiento iterativo para el cálculo de ambas variables (edad óptima y número de rebrotes). En la misma línea, Tait (1986) emplea la programación dinámica a la hora de resolver el problema, concluyendo interesantes relaciones para el cálculo del manejo óptimo entre el caso de una masa regular y una procedente de monte bajo. Bajo una óptica más amplia, Chang (1998) se plantea una solución generalizada al paradigma de Faustmann utilizando también la programación dinámica. A priori, una masa tratada bajo un sistema de monte bajo podría gestionarse según esta solución, aunque parece más pensada para masas regulares. Finalmente, otros autores (Smart y Burgess, 2000) funden los planteamientos de Chang y Tait a través de un modelo recursivo en el que se introducen diversos outputs no madereros.

El propósito de este trabajo sería, utilizando técnicas basadas en la programación dinámica y en el método Monte Carlo, comprobar cuál sería la secuencia óptima de corta en una plantación de eucaliptos de Galicia al considerar un escenario donde se introduce el riesgo, y comparar estos resultados para el escenario determinista. Además, para cada escenario se tendrá en cuenta el posible impacto de la existencia

de una prima por cada tonelada métrica de carbono capturada, según tres casos distintos.

Material y Métodos

Para realizar este estudio se ha partido de la información proporcionada por las tablas de producción para *Eucalyptus globulus* en Galicia, citadas en Madrigal *et al.* (1999), con un espaciamiento de 3x3m y para dos índices diferentes de estación (calidades I y III). En cuanto al carbono capturado por estas plantaciones, únicamente se ha contabilizado el carbono capturado por la parte aérea no radical de las plantas (tronco y biomasa arbórea). En Díaz-Balteiro & Rodríguez (2006) se desglosan tanto los costes asociados a la plantación como la metodología empleada para calcular el carbono capturado.

Se han considerado tres casos posibles para la integración del carbono en nuestro análisis. En primer lugar, el caso 1 no considera la introducción del carbono capturado en el análisis. El caso 2 asume que todo el carbono se oxida en el momento de la corta, hipótesis vigente hoy en día en el Protocolo de Kyoto. Finalmente, el caso 3 considera la posibilidad que el 50% del carbono acumulado en el momento de la corta pase a productos derivados del papel, y este carbono es re-emitido linealmente durante los 5 años siguientes a la corta. El 50% restante es dividido en dos componentes: la mitad es oxidado durante la corta final y el restante 25% se re-emite linealmente durante los 15 años siguientes a la corta.

Bajo un entorno no determinista, las variables que se han tomado como estocásticas han sido tres. En primer lugar, el precio real de la madera, obtenido a partir de una serie histórica de precios reales obtenidos a partir de la Asociación Forestal de Galicia desde el año 1999 hasta el año 2006 donde se ha ajustado una curva

exponencial. Para la segunda variable, la tasa de descuento, se asume una distribución triangular, con un 5% de media y límites del 3 y del 7%. Por último, para el precio del carbono capturado, que constituye la tercera variable, se ha supuesto una distribución exponencial basada en los datos recogidos en una serie histórica obtenida en la base de datos Point Carbon desde junio de 2003 a marzo de 2006.

Por otro lado, en Diaz-Balteiro & Rodríguez (2006) se muestra la metodología empleada basada en la estimación del turno óptimo partiendo de la solución de Faustmann e introduciendo un procedimiento basado en la programación dinámica, muy útil cuando se presentan una serie de decisiones interrelacionadas, como es este caso.

Con el fin de integrar en el análisis posibles fluctuaciones de ciertos parámetros clave que intervienen en la metodología arriba mostrada, se ha introducido un escenario con variables no deterministas, y en el que se va a emplear una simulación tipo Monte Carlo. En este caso el método Monte Carlo se asimila a un análisis de sensibilidad. Si se conocen las funciones de densidad de estas probabilidades, el método comienza con una muestra aleatoria de valores

generados por dichas funciones de densidad. Este proceso continúa a través de múltiples simulaciones hasta que el modelo converge a resultados estables. Así, el resultado final es tomado como una media sobre las observaciones obtenidas a lo largo de todas las simulaciones (10000).

Resultados

Los resultados del escenario no determinista (Tabla 1) muestran variaciones marcadamente diferentes si se analiza el turno óptimo o el valor esperado del suelo en comparación con la solución donde no se incluye el riesgo en el análisis. En efecto, en cuanto al turno y para la calidad de estación I se perciben incrementos de 1 año para el caso 2 y de dos años para el caso 3, mientras que la solución es la misma para el caso 1. Para la peor calidad de estación se observa que el turno es un año mayor en los tres casos. Por el contrario, el valor esperado del suelo sufre marcadas reducciones cuando se introduce un escenario no determinista. Así, para el caso 1 se experimentan reducciones entre un 24,3% y un 30,3% según la calidad de estación considerada. Al considerar el carbono en el análisis, se sigue la misma pauta, aunque las reducciones en el VES son ligeramente inferiores.

Tabla 1. Turno óptimo y Valor esperado del suelo (VES) para el escenario no determinista

Caso	Calidad Estación I					Calidad Estación III					VES (€/ha)	
	M.a.	1 ^{er} r.	2 ^o r.	3 ^{er} r.	Turno	M.a.	1 ^{er} r.	2 ^o r.	3 ^{er} r.	Turno	Calidad Estación I	Calidad Estación III
1	14	15	15	0	44	14	16	15	0	45	12.887,5	4.792,5
2	15	16	15	0	46	15	16	16	0	47	13.595,7	5.214,7
3	15	16	15	0	46	15	16	16	0	47	14.154,8	5.496,1

M.a.: Monte alto

1^{er} r.: Primer rebrote2^o r.: Segundo rebrote3^{er} r.: Tercer rebrote

Discusión y Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran cifras en cuanto a la duración de cada etapa del turno (bien sea monte alto o monte bajo) similares o ligeramente más largas a las adoptadas en la realidad. Si se compara con el turno técnicamente óptimo que se deduce de las Tablas de producción consultadas, éste es siempre mayor o igual que los 16 años. Aunque las diferencias en cuanto al régimen óptimo no han sido muy marcadas en los casos y escenarios considerados, ello no es óbice para introducir la idea de que las duraciones de los distintos ciclos no tienen porque ser siempre iguales, con independencia de los valores que tomen ciertos parámetros que afectan a esta secuencia óptima. Además, aunque el caso estudiado así lo pueda afirmar, el número de rebrotes considerados no tiene porqué

ser siempre invariable. A título de ejemplo, para otra especie de eucalipto en Brasil se observan diferente número de rebrotes según diversos casos considerados (Díaz-Balteiro y Rodríguez, 2006). Finalmente, es preciso insistir en el descenso de la rentabilidad cuando se introduce el riesgo.

Agradecimientos

Los autores quisieran agradecer al Profesor Manuel Fernández Martínez (Universidad de Huelva) la información aportada sobre la densidad de *Eucalyptus globulus*.

El trabajo de Luis Díaz Balteiro está financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT). Por otro lado, el trabajo de Luiz Carlos Estraviz Rodríguez cuenta con dotación suplementaria para investigación del “Conselho Nacional de Pesquisa” CNPq.

Referencias Bibliográficas

- Chang S.J., 1998. A generalized Faustmann model for the determination of optimal harvest age. *Canadian Journal of Forest Research*. 28, 652-659.
- Díaz-Balteiro L., Rodríguez L.C.E., 2006. Optimal rotations on Eucalyptus plantations including carbon sequestration. A comparison of results in Brazil and Spain. *Forest Ecology and Management*. 229, 247-258
- Madrigal A., Álvarez J.G., Rodríguez R., Rojo A., 1999. *Tablas de Producción para los Montes Españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid, 253 pp.
- Medema E.L., Lyon G.W., 1985. The determination of financial rotation ages for coppicing tree species. *Forest Science*. 31, 398-404.
- Smart J.C.R., Burgess J.C., 2000. An environmental economic analysis of willow SRC production. *Journal of Forest Economics*. 6(3), 193-225.
- Tait D.E., 1986. A dynamic programming solution of financial rotation ages for coppicing tree species. *Canadian Journal of Forest Research*. 16, 799-801.