

Ordenación Forestal

Modelos generales de programación lineal para la planificación de las cortas. Modelos I y II: Períodos de corta, unidades de corta y regímenes de manejo. Variables de decisión, función objetivo y restricciones. Políticas de cosecha. Comparación entre modelos I y II. (Unidad 8).

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Universidad Nacional de La Plata

La Plata – 13 de noviembre del 2007 – Pablo Yapura



Una reflexión antes de empezar

(...) muchas currículas universitarias permanecen orientadas a un solo recurso simplemente porque no está claro qué debería contener una orientada al “manejo de múltiples recursos”. A menudo se considera que los graduados con títulos en “estudios ambientales” o en “gestión de recursos naturales” saben “un poco acerca de casi todo, pero no mucho acerca de algo en particular”. El corolario de este libro es que contabilizar las interacciones entre múltiples productos es un problema complicado, tanto teórica como pragmáticamente, que requiere más cálculo avanzado y programación matemática, respectivamente, que lo comúnmente aplicado hasta ahora en el manejo forestal.

Con mis sesgos personales absolutamente expuestos, no puedo resistirme a sugerir que quizás sean las destrezas cuantitativas las que deberían estar en el núcleo curricular de la gestión de múltiples recursos. Es con estas habilidades que la complejidad del problema puede ser analizada; y es cuando faltan estas habilidades que el manejo de múltiples recursos se convierte en un terreno dominado por las creencias, las discusiones anecdóticas y la falta de especialización apuntada. (...).

John Hof. 1993. Coactive forest management.



El problema de la planificación de las cosechas

Considérese el siguiente problema que enfrenta un responsable del manejo forestal:

- Debe programar las cosechas e inversiones en una unidad de manejo constituida por múltiples rodales en diferentes condiciones.
- Desea maximizar el volumen o el valor que producen sus operaciones forestales para un largo período de tiempo.
- Seguramente enfrentará restricciones en los flujos de productos, en los valores o en las actividades que puede implementar con respecto al tiempo.
- Reconoce que tiene una gran cantidad de opciones diferentes para cumplir sus objetivos.



Características sobresalientes del Modelo I

Las definiciones (simplificaciones):

- El **Horizonte de Planificación** es el tiempo para el cual se hacen las proyecciones (forma parte de la política). Una definición práctica para el largo plazo es fijarlo en 1,5 o 2 veces la duración típica de la rotación.
- El tiempo se describe con **Períodos de Corta** (normalmente plurianuales). La planificación anual no siempre es necesaria o deseable, por lo que el horizonte de planificación se divide en varios períodos, tomando ambos valores como múltiplos.
- La duración de los períodos puede ser constante para todo el horizonte de planificación. También pueden ser de duración variable (más cortos para los primeros años y más largos para el futuro distante).



Características sobresalientes del Modelo I

Las definiciones (simplificaciones):

- El bosque original se describe mediante las **Unidades de Corta (Estratos o Unidades de Análisis)**.
- Una opción es que cada rodal existente constituya una unidad de corta diferente.
- Otra opción es agrupar rodales semejantes y próximos (e.g. dentro de la misma unidad administrativa).
- Otra opción es agrupar rodales semejantes independientemente de su localización geográfica (estratos).
- Otra opción es agrupar rodales diferentes pero contiguos que, luego de la primera cosecha, serán manejados como un solo rodal.



Características sobresalientes del Modelo I

Las definiciones (simplificaciones):

- Los **Regímenes de Manejo (Prescripciones)** especifican todas las opciones silvícolas previstas.
- En esencia, un régimen de manejo define una estrategia que implica una serie de prácticas silviculturales (cosecha), las que se pueden implementar en todo el horizonte de planificación.
- Los regímenes se aplican a cada unidad de corta identificada y sus actividades se detallan en el calendario de períodos de corta que constituyen el horizonte de planificación.
- Habrá una variable de decisión para cada combinación de **Unidad de Corta** y **Régimen de Manejo** que se haya identificado.



Los regímenes de manejo en el Modelo I

Un caso simple: dos clases de edad inicial (4 y 8 períodos), una rotación mínima de 2 períodos y un horizonte de planificación de 6 períodos.

UC	RM	PC					
		1	2	3	4	5	6
	1						
	2						C-10
	3					C-9	
	4				C-8		C-2
	5				C-8		
	6			C-7		C-2	
	7			C-7			C-3
	8			C-7			
	9		C-6		C-2		
	10		C-6		C-2		C-2
1 (4)	11		C-6			C-3	
	12		C-6				C-4
	13		C-6				
	14	C-5		C-2		C-2	
	15	C-5		C-2			C-3
	16	C-5		C-2			
	17	C-5			C-3		
	18	C-5			C-3		C-2
	19	C-5				C-4	
	20	C-5					C-5
	21	C-5					

UC	RM	PC					
		1	2	3	4	5	6
	1						
	2						C-14
	3					C-13	
	4				C-12		C-2
	5				C-12		
	6			C-11		C-2	
	7			C-11			C-3
	8			C-11			
	9		C-10		C-2		
	10		C-10		C-2		C-2
2 (8)	11		C-10			C-3	
	12		C-10				C-4
	13		C-10				
	14	C-9		C-2		C-2	
	15	C-9		C-2			C-3
	16	C-9		C-2			
	17	C-9			C-3		
	18	C-9			C-3		C-2
	19	C-9				C-4	
	20	C-9					C-5
	21	C-9					



La formulación con el Modelo I

Para el caso simple: 2 clases de edad inicial (4 y 8 períodos de edad), rotación mínima de 2 períodos y 6 períodos de corta.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z &= c_{1,1} x_{1,1} + c_{1,2} x_{1,2} + c_{1,3} x_{1,3} + \cdots + c_{1,19} x_{1,19} + c_{1,20} x_{1,20} + c_{1,21} x_{1,21} \\ &\quad + c_{2,1} x_{2,1} + c_{2,2} x_{2,2} + c_{2,3} x_{2,3} + \cdots + c_{2,19} x_{2,19} + c_{2,20} x_{2,20} + c_{2,21} x_{2,21} \\ \max z &= \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^{21} c_{i,k} x_{i,k} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\begin{aligned} x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + \cdots + x_{1,19} + x_{1,20} + x_{1,21} &= \sum_{k=1}^{21} x_{1,k} \leq a_1 \\ x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + \cdots + x_{2,19} + x_{2,20} + x_{2,21} &= \sum_{k=1}^{21} x_{2,k} \leq a_2 \end{aligned}$$



Una introducción al Modelo II

La definición de las actividades (o variables de decisión):

- Se mantienen los supuestos ya indicados, aunque se implementan de manera levemente diferente.
- En el Modelo II cada clase de edad inicial integra una unidad de corta hasta que se cosecha. Toda superficie regenerada en cada período forma una nueva clase de edad y una nueva unidad de corta hasta que es cosechada de nuevo.
- Cada variable de decisión representa un posible régimen de manejo para una unidad de corta particular, desde que se regenera hasta que se vuelve a cosechar o se deja sin cosechar hasta el fin del plan.
- El foco se pone en las opciones para la próxima rotación únicamente y no para todo lo que queda del plan.



Una introducción al Modelo II

Entonces, hay cuatro tipos de variables de decisión:

- Superficies existentes al inicio del horizonte de planificación que se cosechan antes de la finalización del plan ($x_{i,j}$).
- Superficies existentes al inicio del horizonte de planificación que no se cosechan hasta la finalización del plan ($w_{i,p}$).
- Superficies regeneradas durante el plan que se cosechan antes de la finalización del plan ($x_{j,k}$).
- Superficies regeneradas durante el plan que no se cosechan hasta la finalización del plan ($w_{j,p}$).



Una introducción al Modelo II

Las restricciones de área:

- Las áreas ya regeneradas al inicio del plan pueden ser asignadas a la cosecha durante el plan (1 rotación) o serán retenidas para formar parte de la estructura remanente del bosque.
- Toda superficie cosechada durante el plan se debe transferir a variables que llevarán la cuenta de nuevas oportunidades de cosecha antes de la finalización del plan o que también pueden ser retenidas para la estructura remanente.

Las contribuciones (coeficientes de la función objetivo):

- Si se expresan en volumen, además de maximizar la cosecha del plan se maximizarán las existencias terminales.
- Si se expresan en valor actual perpetuo, el resultado será el mismo (aunque algunos autores sostienen que en el Modelo I hay restricciones implícitas).



La formulación con el Modelo II

Para el caso simple: 2 clases de edad inicial (4 y 8 períodos de edad), rotación mínima de 2 períodos y 6 períodos de corta.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & \sum_{j=1}^6 (c_{-8,j} x_{-8,j} + c_{-4,j} x_{-4,j}) + \sum_{j=3}^6 c_{1,j} x_{1,j} + \sum_{j=4}^6 c_{2,j} x_{2,j} + \sum_{j=5}^6 c_{3,j} x_{3,j} + c_{4,6} x_{4,6} + \\ & + d_{-8,6} w_{-8,6} + d_{-4,6} w_{-4,6} + \sum_{i=1}^6 d_{i,6} w_{i,6} \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^6 x_{-8,j} + w_{-8,6} = a_{-8}$$

$$\sum_{j=1}^6 x_{-4,j} + w_{-4,6} = a_{-4}$$

$$\sum_{j=3}^6 x_{1,j} + w_{1,6} = x_{-8,1} + x_{-4,1}$$

$$x_{4,6} + w_{4,6} = x_{-8,4} + x_{-4,4} + \sum_{i=1}^2 x_{i,4}$$

$$\sum_{j=4}^6 x_{2,j} + w_{2,6} = x_{-8,2} + x_{-4,2}$$

$$w_{5,6} = x_{-8,5} + x_{-4,5} + \sum_{i=1}^3 x_{i,5}$$

$$\sum_{j=5}^6 x_{3,j} + w_{3,6} = x_{-8,3} + x_{-4,3} + x_{1,3}$$

$$w_{6,6} = x_{-8,6} + x_{-4,6} + \sum_{i=1}^4 x_{i,6}$$



Un desafío y las diferencias

El desafío es:

- Encontrar las conexiones entre las variables de decisión de ambos modelos. Usando la Tabla de Regímenes de Manejo verificar que todas las oportunidades de cosecha están contempladas.

Las diferencias más importantes:

- La definición de las variables en el Modelo I implica que se pueden trazar cada una de las hectáreas de la unidad de manejo desde el principio hasta el fin del plan.
- En el Modelo II esto no es posible puesto que todas las hectáreas cosechadas en idéntico período (no importa de dónde provengan) se transfiere a nuevas variables y ya no son fácilmente “separables”. Con horizontes largos, esta característica se acentúa.



Algunas semejanzas y más diferencias

- La inclusión de restricciones para controlar la producción periódica en volumen (e.g. rendimiento sostenido estricto, indeclinante, creciente en proporciones fijas o variables) es muy sencilla en ambos modelos.
- Igualmente simple en ambos casos es desarrollar las ecuaciones para controlar la estructura terminal del bosque (e.g. bosque ordenado).
- Se pueden obtener los mismos resultados con ambas formulaciones.
- El Modelo I requiere una restricción de área para cada unidad presente al principio. El Modelo II requiere adicionalmente las ecuaciones de transferencia (el problema tiene más filas).
- La cantidad de variables de decisión que requiere cada modelo es diferente. Sin embargo, en ambos casos el número depende de la duración del horizonte de planificación, de la rotación mínima definida y de cantidad de unidades al principio del plan (se pueden calcular con distintas fórmulas).



La dimensión de los problemas

Tabla 11.22. Comparación de las variables y restricciones entre los Modelos I y II cuando cada tipo de rodal tiene 15 clases de edad iniciales en el rango entre 6 y 20 períodos. La rotación máxima ha sido establecida en 20 períodos, el que además es el horizonte de planificación. Adaptado de Davis *et al.*, 2001.

Tipos de Rodal	Clases edad inicial (dentro del tipo) combinadas (si cosechadas al mismo tiempo)	Rotación mínima	Modelo I		Modelo II	
			Restricciones (filas)	Actividades (columnas)	Restricciones (filas)	Actividades (columnas)
1	Sí	4	15	11239	35	276
1	Sí	6	15	2904	35	245
1	Sí	12	15	339	35	146
3	Sí	4	45	33717	75	828
3	Sí	6	45	8712	75	735
3	Sí	12	45	1017	75	438
1	No	4	15	11239	315	2460
1	No	6	15	2904	315	1995
1	No	12	15	339	315	939
3	No	4	45	33717	915	7380
3	No	6	45	8712	915	5985
3	No	12	45	1017	915	2817



El uso de los Modelos I y II

Tabla 4. Métodos de planificación estratégica usados por varios tipos de organizaciones. El contacto es normalmente una sola persona que puede representar a una compañía, una empresa de software o una consultora, representando a una o varias organizaciones. La información se reunió mediante encuestas informales en julio de 1999 y representa las prácticas de planificación de 32 empresas de EUA, 3 de Chile y 21 de Nueva Zelanda y Australia. También están representadas 13 consultoras y 12 agencias gubernamentales. El número entre paréntesis de la primer columna indica la cantidad de organizaciones informadas por el contacto (el contacto G reportó 21 empresas, 13 consultoras y 11 agencias de gobierno). En blanco organizaciones industriales, en celeste el USDA-FS, en amarillo industrias de Nueva Zelanda, en gris industrias de Chile y en verde el único productor sin industria (NIPF). Todas implementaron alguna modalidad de regulación de las cortas periódicas. Adaptado de Roise *et al.*, 2000.

Contacto (N°)	Función Objetivo	Modelo	Técnica Solución	Plan (años)	Períodos (años)	Unidad Análisis	Actualización
A (1)	VAN	Modelo I	Simplex	100	5	Agregados	5 (1)
B (1)	VAN	Modelo II	Simplex	30-100	Variable	Rodales	Continuo
C (3)	VAN	Modelo I	Simplex	? 100	5-10	Agregados	Variable
D (1)	Costo	Modelo I	Simplex	45	3	Agregados	1
E (1)	Múltiple	Modelos I/II	Simplex	Variable	Variable	Variable	Variable
F (1)	Múltiple (VAN)	Modelo I	Heurística	40	1	Rodales	1
G (21,13,11)	VAN y/o Volumen	Modelo II	Simplex	Variable	Variable	Rodales	Variable
H (1)	VAN	Modelo I	Simplex	40-100	1/3-5	Rodales	3-5
I (1)	Volumen Área	RAV	Reglas de Corta	10	1	Rodales	1
J (21)	VAN	Modelo II	Simplex	60-90	3-6	Agregados	1
K (3)	VAN	Modelo I	Simplex	50	3	Agregados	Continuo
L (1)	VAN	Modelo I	Simplex	50	5	Rodales	5-8
M (1)	VAN	Modelo I	Simplex	30-45	3-5	Agregados	4-6



Bibliografía sugerida

- Buongiorno J & JK Gilless. 1987. Forest management and economics: a primer in quantitative methods. Macmillan Publishing Company. New York. 285 pp.
- Buongiorno J & JK Gilless. 2003. Decision Methods for Forest Resource Management. Academic Press. San Diego. 439 pp.
- Clutter JL, Fortson JC, Pienaar LV, Brister GH & RL Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. John Wiley & Sons. New York. 333 pp.
- Davis LS & KN Johnson. 1987. Forest management. 3rd Edition. McGraw-Hill Book Company. New York. 790 pp.
- Davis LS, KN Johnson, PS Bettinger & TE Howard. 2001. Forest management – To sustain ecological, economic, and social values. 4th Edition. McGraw-Hill Book Company. New York. 804 pp.
- Dykstra DP. 1984. Mathematical programming for natural resource management. McGraw-Hill Book Company. New York. 318 pp.



Bibliografía sugerida

- Hillier FS & GJ Lieberman. 1991. Introducción a la investigación de operaciones. 3° Edición en español. McGraw-Hill. México. 956 pp.
- KN Johnson & HL Scheurman. 1977. Techniques for prescribing optimal timber harvest and investment under different objectives – Discussion and synthesis. Forest Science Monograph 18: 31 pp.
- Hof J. 1993. Coactive forest management. Academic Press. San Diego. 189 pp.
- Leuschner WA. 1990. Forest regulation, harvest scheduling, and planning techniques. John Wiley & Sons, Inc. New York. 281 pp.
- Roise JP, FW Cabbage, RC Abt & JP Siry. 2000. Regulation of timber yield for sustainable management of industrial forest plantations – Theory and practice. 217-255. En: K von Gadow, T Pukkala & M Tomé (Eds). Sustainable forest management. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 356 pp.

