

---

## Planificación del Manejo a Nivel de Bosque: Conceptos Básicos

---

Clutter JL, Fortson JC, Pienaar LV, Brister GH & RL Bailey. 1983. Timber management: a quantitative approach. Chapter 9 – Forest-level management planning: basic concepts: 238:271. John Wiley & Sons, New York. La presente traducción tiene fines exclusivamente didácticos. Pablo Yapura.

---

Los capítulos precedentes trataron los métodos de planificación del manejo forestal que se aplican cuando cada rodal puede ser considerado como una situación separada e independiente en la toma de decisiones. Estas situaciones son primariamente aplicables al manejo de pequeñas parcelas de tierras forestales donde no hay una necesidad particular de estabilizar, o moderar en el tiempo, la producción de madera y los flujos de caja producidos por la propiedad. Por otra parte, los administradores de extensiones mayores típicamente deben empeñarse en la obtención de cosechas de madera y de utilidades que sean relativamente estables año tras año. Para lograr esta estabilidad, el bosque debe ser tratado como una entidad única y deben emplearse procedimientos más complejos de planificación y análisis.

El proceso al que nos referimos con la denominación de *planificación a nivel de bosque* ha sido tradicionalmente llamado *ordenación forestal*. Sin embargo, los objetivos del proceso y las técnicas involucradas han cambiado tan drásticamente en los últimos años que la adopción de una nueva denominación resulta apropiada para enfatizar las diferencias entre la vieja metodología y los enfoques que se usan actualmente. Los procedimientos tradicionales de la ordenación forestal estuvieron fundados en la existencia de alguna estructura de “bosque meta”. El logro y el mantenimiento subsecuente de esta estructura se asumían como importantes objetivos del manejo. Nosotros no creemos que un bosque balanceado estáticamente constituya un objetivo muy razonable para el manejo forestal actual (Thompson, 1966; Ware & Clutter, 1971) y, en cambio, sostenemos que el verdadero rol del administrador es el manejo inteligente de estructuras *desbalanceadas* del bosque. Se espera que el significado pleno de esta expresión se clarifique en la discusión subsiguiente.

### 9.1 EL BOSQUE COMPLETAMENTE ORDENADO

El bosque meta de la ordenación forestal fue originalmente denominado como *bosque normal*. Como muchas entidades calificadas con el adjetivo “normal”, tales bosques existieron solamente como constructos ideales. El bosque normal tradicional es una colección de rodales coetáneos que se manejan con una rotación de  $R$  años de edad. Los rendimientos de estos rodales están dados por alguna tabla de producción normal, de manera que todos los rodales se asumen como normalmente (*i.e.* completamente) poblados. Se considera que todos los rodales crecen en sitios equiproductivos y se asume que la distribución por clases de edad en el bosque está *balanceada*. Una *distribución por clases de edad balanceada* existe cuando hay iguales superficies en rodales de 1 año de edad, de 2 años de edad, ..., de  $R$  años de edad con iguales superficies. Discusiones más recientes de la ordenación forestal (*e.g.* Davis, 1966; Clawson, 1977) han abandonado el término *bosque normal* y, en cambio, consideran el de *bosque completamente ordenado*. El concepto de bosque completamente ordenado de ninguna manera implica una referencia a la población normal. En un bosque completamente ordenado simplemente se asumen los rendimientos logrados a distintas edades como aquellos dados por alguna función de rendimiento

conocida, que sea aplicable al tipo e intensidad del manejo que se aplica. A pesar de que una estructura completamente ordenada es raramente una condición realizable, o incluso deseable, para los bosques reales, el concepto del bosque completamente ordenado es un constructo útil y la cabal comprensión de las relaciones dinámicas involucradas en cualquier bosque completamente ordenado es un prerrequisito necesario para el estudio de los cambios que ocurren a través del tiempo en bosques con estructuras más complejas.

### 9.1.1 La Estructura de los Bosques Completamente Ordenados

Muchos de los principios fundamentales de la dinámica de bosques están basados en relaciones que se presentan en los bosques completamente ordenados. Por lo tanto, es interesante discutir la estructura de los bosques completamente ordenados con algún detalle. Consideremos un bosque de  $A$  acres manejado con una rotación de  $R$  años de edad. El bosque está constituido por  $R$  clases de edad de 1 año con igual superficie en todas las clases. El volumen promedio por acre para cada clase de edad es obtenido a partir de una tabla de rendimiento apropiada. Se asume que los rodales de la clase de edad de  $R$  años pasan a la clase de edad de 1 año después de la cosecha<sup>1</sup>. Para tener una expresión precisa de la situación, se definen las siguientes variables:

$Y_i$  = volumen por acre en la clase de edad  $i$

$V_i$  = volumen total en la clase de edad  $i$

$a$  = acres por clase de edad

$g$  = incremento promedio anual por acre del bosque

$G$  = incremento total anual del bosque

$H$  = cosecha total anual del bosque

$IMA_R$  = incremento medio anual para el rodal con la edad de la rotación

Cada año, los rodales de clase de edad más vieja en el bosque son cosechados y esta superficie se convierte en los rodales de la clase de edad de 1 año para el próximo año. Todos los demás rodales adelantan una clase de edad cada año. Puesto que todas las clases de edad tienen igual superficie, la distribución de áreas por clases de edad no se modifica año tras año y, puesto que todas las áreas son igualmente productivas, la distribución del volumen por clases de edad también permanece inalterada. Estas circunstancias expresan la característica predominante de un bosque completamente ordenado: toda vez que la clase de edad más vieja sea cosechada cada año, la estructura del bosque no se modifica. Aquí se expresan algunas relaciones importantes para tales bosques.

1. La superficie en cada clase de edad es

$$a = A/R \quad (9.1)$$

---

<sup>1</sup> Esto no necesariamente implica la regeneración inmediata puesto que los retrasos promedios en la regeneración pueden ser incluidos fácilmente en la tabla de rendimiento. Por ejemplo, si el retraso promedio esperado en la regeneración es de 1 año, el volumen por acre mostrado en la tabla de rendimiento para la clase de edad 25 sería el volumen por acre para el rodal que tiene 24 años de edad.

2. El volumen total de las existencias en el bosque  $V_{gs}$  es<sup>2</sup>

$$V_{gs} = V_1 + V_2 + \dots + V_R = \sum_{i=1}^R V_i \quad (9.2)$$

o bien

$$V_{gs} = aY_1 + aY_2 + \dots + aY_R = a \sum_{i=1}^R Y_i \quad (9.3)$$

3. La cosecha anual es el volumen de la clase de edad más vieja, de manera que

$$H = V_R = aY_R \quad (9.4)$$

4. Puesto que la estructura del bosque permanece inalterada de un año al próximo, el crecimiento anual y la cosecha anual del bosque deben ser idénticos, de manera que

$$G = H \quad (9.5)$$

o, de manera equivalente

$$G = aY_R \quad (9.6)$$

5. A partir de la ecuación (9.1) se sabe que  $A = aR$ , de manera que la ecuación (9.6) puede reescribirse como

$$\frac{G}{A} = \frac{aY_R}{aR}$$

o bien

$$g = IMA_R \quad (9.7)$$

Este importante resultado significa que el incremento promedio anual por acre para la totalidad del bosque es igual al incremento medio anual de los rodales que tienen la edad de la rotación. También se deduce de las ecuaciones (9.5) y (9.6) que

$$H = aY_R = (A/R)Y_R = (Y_R/R)A$$

o bien

$$H = (IMA_R)(A) \quad (9.8)$$

---

2 Esta relación puede expresarse de varias maneras dependiendo de cuando se asuma que ocurren las cosechas. Los analistas financieros normalmente muestran a los flujos anuales de caja como ocurriendo íntegramente al final del año. La ecuación mostrada para  $V_{gs}$  está basada en un supuesto simplificador equivalente para flujos de madera.

Entonces, la cosecha total anual es el producto de la superficie total del bosque por el incremento medio anual de los rodales en la edad de la rotación.

### 9.1.2 Algunos Ejemplos de Bosques Completamente Ordenados

La tabla 9.1 muestra una hipotética tabla de producción para una especie de rápido crecimiento en plantaciones de rotaciones cortas. Dicha tabla se usará para ilustrar la composición de un conjunto de bosques completamente ordenados. Se asume que todos estos bosques crecen de acuerdo a la función de producción expresada en esta tabla y que todos producirán la misma cosecha total anual. Los bosques considerados tendrán, sin embargo, distintas edades de rotación. Las características estructurales importantes de estos bosques para rotaciones desde 6 hasta 30 años se sintetizan en la tabla 9.2. Cada bosque mostrado es capaz de soportar una cosecha anual sostenida de 400.000 cunits por año (N. del T.: el cunit es una unidad de volumen estéreo definida como equivalente a 100 pies cúbicos de madera sólida).

Para ilustrar los pasos involucrados en el cálculo de la tabla 9.2 considere el bosque completamente ordenado con una rotación de 25 años. Como los rodales de la clase de edad de 25 tienen en promedio 92,75 cunits por acre y la cosecha anual debe ser de 400.000 cunits, el área cosechada anualmente debe ser:

$$a = \frac{400.000}{92,75} = 4312,67 \text{ acres}$$

Con 25 clases de edad y 4312,67 acres por clase de edad, el tamaño total del bosque es

$$A = 25(4312,67) = 107.817 \text{ acres}$$

El volumen total de las existencias para el bosque puede calcularse con

$$V_{gs} = 4312,67(4,80 + 10,50 + 16,64 + \dots + 92,75) = 4.746.697 \text{ cunits}$$

de modo que la proporción de las existencias totales que se cosecha cada año es

$$\text{Proporción cosechada} = 100 \left( \frac{400.000}{4.746.697} \right) = 8,43 \text{ por ciento}$$

El incremento medio anual para rodales en la edad de la rotación se obtiene con

$$IMA_R = \frac{92,75}{25} = 3,71 \text{ cunits/acre/año}$$

Varias comparaciones interesantes pueden hacerse con la información contenida en la tabla 9.2. Como ya se mencionó con anterioridad, todos los bosques mostrados son equivalentes en un aspecto: cada uno de ellos puede soportar una cosecha anual sostenida de 400.000 cunits por año. En otros aspectos, los bosques son bastante distintos. Las superficies de corta anual varían desde 83.333 hasta 3.968 acres y la extensión total del bosque va de un máximo de 500.000 a un mínimo de 102.564 acres. El bosque con la rotación mínima contiene un total de existencias

volumétricas de solamente 400.000 cunits, mientras que el de máxima rotación tiene existencias volumétricas totales de 6.316.984 cunits. Las proporciones cosechadas para estos bosques varían desde 100 hasta 6,3 por ciento. Los incrementos medios anuales van desde 0,80 hasta 3,90 cunits por acre por año.

Tabla 9.1. Ejemplo hipotético de una tabla de rendimiento.

<b>Edad (años)</b>	<b>Rendimiento (cunits/acre)</b>
6	4,80
7	10,50
8	16,64
9	22,95
10	29,10
11	34,98
12	40,80
13	46,67
14	52,22
15	57,00
16	61,60
17	65,96
18	70,20
19	73,91
20	77,60
21	81,06
22	84,26
23	87,40
24	90,24
25	92,75
26	94,90
27	96,93
28	98,56
29	100,05
30	100,80

La cuestión obvia en este punto es, por supuesto: ¿cuál de las estructuras del bosque mostradas es mejor? Esta no es una pregunta fácil de contestar. Alguien podría contestar que el bosque cuya rotación es de 18 años es preferible puesto que es el que requiere la menor base de tierra (102.564 acres). No debería sorprender que el bosque con la mínima base de tierras sea manejado con la rotación correspondiente al máximo incremento medio anual. La ecuación 9.8 expresa que

$$H = (IMA_R)(A)$$

En este caso  $H$  fue especificado en 400.000 cunits y el mínimo valor de  $A$  que cumple la igualdad debe, entonces, estar asociado con el valor máximo del  $IMA_R$ . Sin embargo, la opción por la mínima base de tierra, como la mejor, ignora toda consideración económica (con la posible excepción de los costos de adquisición de las tierras), y probablemente esta alternativa

constituiría una estrategia óptima solamente si el criterio de selección adoptado fuera minimizar el tamaño del bosque. De los criterios económicos que podrían considerarse, el mínimo costo por unidad de crecimiento es probablemente el más apropiado en esta situación. Puesto que el bosque está controlado para una producción anual de 400.000 cunits, es razonable creer que el mismo está asociado con una planta de procesamiento que requiera anualmente 400.000 cunits de madera y que otros mercados no están disponibles. En esta situación, el bosque *operativo* óptimo para el propietario sería aquel que minimice el costo del crecimiento anual. Es importante notar, sin embargo, que las expresiones anteriores aún no resuelven completamente la cuestión. Si se puede llegar directamente a una situación operativa, la mejor alternativa sería aquella que implica la rotación del mínimo costo del crecimiento. Sin embargo, si el bosque debe establecerse con anterioridad a la activación de la planta de procesamiento, de ninguna manera es seguro que la estrategia óptima implicaría un bosque manejado con la rotación del mínimo costo por unidad de crecimiento.

Tabla 9.2. Características de varios bosques completamente ordenados que proveen una cosecha sustentable de 400.000 cunits por año.

<b>Rotaciones</b> <b><math>R</math></b> <b>(años)</b>	<b>Área de corta</b> <b>anual</b> <b><math>a</math></b> <b>(acres)</b>	<b>Área total del</b> <b>bosque</b> <b><math>A</math></b> <b>(acres)</b>	<b>Existencias</b> <b>totales</b> <b><math>V_{gs}</math></b> <b>(cunits)</b>	<b>Proporción anual</b> <b>cosechada</b>	<b>IMA de los rodales</b> <b>cosechados</b> <b><math>IMA_R</math></b> <b>(cunits/acre/año)</b>
6	83.333	500.000	400.000	100,0	0,80
7	38.095	266.667	582.857	68,6	1,50
8	24.038	192.308	767.788	52,1	2,08
9	17.429	156.863	956.688	41,8	2,55
10	13.746	137.457	1.154.502	34,6	2,91
11	11.435	125.786	1.360.435	29,4	3,18
12	9.804	117.647	1.566.373	25,5	3,40
13	8.571	111.421	1.769.359	22,6	3,59
14	7.660	107.239	1.981.310	20,2	3,73
15	7.018	105.263	2.215.158	18,1	3,80
16	6.494	103.896	2.449.740	16,3	3,85
17	6.064	103.093	2.687.811	14,9	3,88
18	5.698	102.564	2.925.470	13,7	3,90
19	5.412	102.828	3.178.623	12,6	3,89
20	5.155	103.093	3.427.474	11,7	3,88
21	4.935	103.627	3.681.174	10,9	3,86
22	4.747	104.439	3.941.372	10,1	3,83
23	4.577	105.263	4.199.771	9,5	3,80
24	4.433	106.383	4.467.598	9,0	3,76
25	4.313	107.817	4.746.695	8,4	3,71
26	4.215	109.589	5.039.157	7,9	3,65
27	4.127	111.421	5.333.622	7,5	3,59
28	4.058	113.636	5.645.414	7,1	3,52
29	3.998	115.942	5.961.339	6,7	3,45
30	3.968	119.048	6.316.984	6,3	3,36

Por ejemplo, supongamos que para las condiciones económicas involucradas, el mínimo costo por unidad de crecimiento ocurre con la rotación de 15 años. Si una empresa iniciara simultáneamente el establecimiento del bosque a partir de tierra desnuda (o de bosques no comerciales) con el establecimiento de la planta de procesamiento, la misma no percibirá ingresos hasta un punto en el tiempo distante 15 años, aunque incurriría en considerables

desembolsos durante cada uno de esos 15 años. Si se espera una importante utilidad anual de la unidad de procesamiento, la estrategia de maximizar el valor actual de los flujos de caja futuro implicará, casi seguramente, un bosque basado, al menos inicialmente, en una rotación más corta que 15 años, con los beneficios generados por la activación temprana de la planta más que compensando los mayores costos del crecimiento asociados con la menor rotación.

Aunque los emprendimientos que combinan la forestación con el establecimiento de plantas industriales del tipo descrito más arriba pueden no resultar familiares para los forestales norteamericanos, muchos de tales proyectos fueron emprendidos en otras partes del mundo<sup>3</sup>. Dado el creciente interés de países en desarrollo por las actividades forestales, puede anticiparse razonablemente que las inversiones de este tipo serán aún más comunes en el futuro.

### 9.1.3 Una Generalización del Concepto de Bosque Completamente Ordenado

Ahora resulta apropiado reconsiderar algunos de los resultados mostrados en la tabla 9.2. En particular, nótese que el valor del  $IMA_R$  es 3,76 cunits por acre por año para un bosque cuya rotación es de 24 años, mientras que el valor del  $IMA_R$  para un bosque cuya rotación es de 25 años es 3,71 cunits por acre por año. ¿No existirá, entonces, un bosque completamente ordenado con una cosecha de 400.000 cunits por año que implique, digamos, un  $IMA$  de 3,73 cunits por acre por año? De hecho, tal bosque existe si el concepto de bosque completamente ordenado se generaliza de cierta manera. En esta generalización se abandona la restricción que exige que todas las clases de edad tengan el mismo número de acres y un bosque completamente ordenado se define como aquel que mantiene permanentemente una estructura constante de clases de edad bajo algún nivel constante de cosecha.

Un bosque que satisface esta definición, que provee una cosecha anual de 400.000 cunits e implica un valor del  $IMA_R$  de 3,73 cunits por acre por año se muestra en la figura 9.1. Cada una de las clases de edad de 1 a 24 contiene 4359,86 acres, mientras que la clase de edad 25 contiene 2615,57 acres. La cosecha de cada año se obtiene cortando la totalidad de los acres de la clase de edad 25 más 1744,29 acres de la clase de edad 24. La superficie total cosechada anualmente es

$$2615,57 + 1744,29 = 4359,86 \text{ acres}$$

El volumen anual cosechado es

$$2615,57(92,75) + 1744,29(90,24) = 400.000 \text{ cunits}$$

y el valor promedio del  $IMA_R$  para los rodales cosechados es

$$\frac{2615,57(3,71) + 1744,29(3,76)}{4359,86} = 3,73 \text{ cunits/acre/año}$$

---

3 Ejemplos relativamente bien conocidos de tales empresas son las industrias forestales de propiedad estatal de South Australia, N.Z. Forest Products Ltd. de Nueva Zelanda, el Proyecto Usutu en Suazilandia, la Comisión Fiyiana del Pino en las Islas Fiyi y el muy publicitado Proyecto Jari en Brasil ecuatorial.

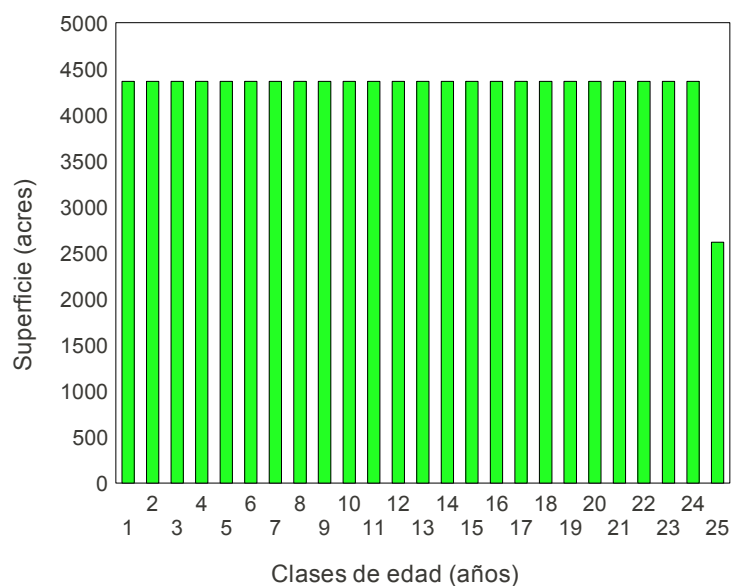


Figura 9.1: La estructura de un bosque completamente ordenado con una cosecha anual de 400.000 cunits y un IMA promedio de 3,73 cunits por acre por año.

Después de la cosecha se dejan

$$4359,86 - 1744,29 = 2615,57 \text{ acres}$$

en la clase de edad 24, de manera que cuando todas las clases de edad avanzan y los acres cosechados se ponen en la clase de edad 1, la estructura es idéntica a la del bosque inicial. También es interesante destacar que la edad de la rotación promedio es

$$R = \frac{2615,57(25) + 1744,29(24)}{4359,86} = 24,6 \text{ años}$$

y que la razón ( $p$ ) entre los acres de la clase de edad de 25 años y los de la clase de edad de 24 años es

$$p = \frac{2615,57}{4359,86} = 0,6$$

El mismo valor de esta razón está implícito en la relación del IMA en la que

$$\frac{3,73 - 3,76}{3,71 - 3,76} = 0,6$$

Estos resultados no son coincidencia. La relación general puede ser expresada como sigue. Si un bosque completamente ordenado tiene una edad de la rotación promedio igual a  $n + p$ , donde  $0 < p < 1$ , entonces las siguientes relaciones se cumplen.



$$1. \quad a_{n+1} = p a_n$$

donde

$a_{n+1}$  = número de acres en la clase de edad más vieja

$a_n$  = número de acres en la clase de edad anterior a la más vieja

$$2. \quad IMA_R = IMA_n + p(IMA_{n+1} - IMA_n)$$

donde

$IMA_R$  = incremento medio anual promedio para los rodales cosechados

$IMA_n$  = incremento medio anual para rodales de edad  $n$

$IMA_{n+1}$  = incremento medio anual para rodales de edad  $n + 1$

Debería notarse que con esta estructura balanceada más general, el incremento total anual del bosque ya no es exactamente igual al producto del total de acres por el  $IMA$  promedio del rodal cosechado (sin embargo, el resultado es aún aproximadamente correcto). Para el bosque de la figura 9.1, el crecimiento total anual es de 400.000 cunits por año dado que el bosque es estable bajo una corta anual de 400.000 cunits. Sin embargo, el producto del total de acres por el  $IMA$  promedio del rodal cosechado es 107.252,21 acres multiplicado por 3,73 cunits por acre y por año, lo que totaliza 400.051 cunits.

#### 9.1.4 Cambios en la Cosecha de un Bosque Completamente Ordenado

La tabla 9.2. muestra las características de varios bosques completamente ordenados, cualquiera de los cuales es capaz de soportar una cosecha anual sostenida de 400.000 cunits. Bajo una corta anual continua de 400.000 cunits, cada uno de estos bosques presentará una estructura constante. ¿Que ocurrirá con estos bosques cuando el nivel de cosecha de equilibrio es incrementado o disminuido?

Por ejemplo, consideremos un bosque completamente ordenado de 50.000 acres con una rotación de 25 años. Se asume que todos los rodales del bosque crecen de acuerdo con la relación de producción dada en la tabla 9.1. Algunas de las características importantes de este bosque son

Acres por clase de edad = 2.000

Cosecha de equilibrio = 185.500 cunits/año

$IMA$  del rodal cosechado = 3,71 cunits/acre/año

Supóngase que la cosecha anual de este bosque se incrementan a un nivel continuo de 193.000 cunits por año. Durante el primer año de operación con el nivel de cosecha incrementado, toda la clase de edad de 25 años debería cortarse y un número de acres suficientes en la clase de edad de 24 años tendrían que ser cosechados para producir los 7.500 cunits adicionales. Puesto que la clase de edad de 24 años tiene en promedio 90,24 cunits por acre,  $7.500/90,24 = 83,11$  acres de la clase de edad 24 deberían cosecharse durante el primer año. En el año próximo, menos de 185.500 cunits estarán disponibles en la clase de edad de 25 años y una superficie mayor tendría que ser cosechada de la clase de edad de 24 años. A partir de este limitado examen de la

situación, intuitivamente se podría sospechar que la continuación de la cosecha incrementada conduciría con el tiempo a la remoción completa de todas las existencias. De hecho, esto no ocurrirá en el caso aquí considerado. La tabla 9.3 muestra el desarrollo de la estructura del bosque a través del tiempo. Puede verse que la imposición de cortas incrementadas conduce a una disminución de la edad promedio de la rotación y a una declinación del volumen total de las existencias. No obstante, con el paso del tiempo, el bosque lentamente asume una estructura crecientemente regular, hasta que, al cabo de 400 años y para todo propósito práctico, el mismo resulta completamente ordenado con una rotación de 21 años (si la simulación hubiese progresado lo suficiente, la clase de edad de 22 años habría desaparecido finalmente y las restantes clases de edad contendrían cada una 2.380,95 acres). Con esta nueva estructura, el bosque podría sostener a perpetuidad el nivel de cosecha anual de 193.000 cunits. La comprensión de lo que aquí ocurrió es fundamental para el entendimiento básico de la dinámica de estos bosques. En la situación que se describió, el incremento en el nivel de cosecha produjo un incremento asociado en la productividad del bosque. Esto ocurrió debido a que la edad de rotación promedio del nuevo bosque está más próxima a la rotación del máximo incremento medio anual que la que correspondía al bosque original.

Las consecuencias últimas de cualquier patrón de cosechas siempre pueden ser exploradas sistemáticamente a través de una simulación por computadora semejante a la reportada en la tabla 9.3. No obstante, para el tipo de situación aquí mencionado, el resultado final de un cambio en el nivel de cosechas puede determinarse por medio del examen de la relación entre el incremento medio anual y la edad de la rotación. Un gráfico del *IMA* del rodal cosechado con la edad de la rotación para la función de rendimiento empleada se muestra en la figura 9.2. El valor del *IMA* del bosque completamente ordenado inicial de la tabla 9.3 se muestra como punto A. La cosecha incrementada produce una nueva estructura balanceada del bosque con una edad de la rotación de 21 años y un incremento medio anual asociado de 3,86 cunits por acre por año (punto B de la figura 9.2). Dado que el crecimiento total anual del bosque en una estructura balanceada se obtiene como el producto entre la superficie total y el *IMA* de la edad de la rotación, el crecimiento anual del nuevo bosque balanceado es

$$G = 50.000(3,86) = 193.000 \text{ cunits/año}$$

el cual sostendrá a perpetuidad el nivel de cosechas incrementado.

Hasta este punto, sólo hemos considerado el ejemplo de un caso particular. Es posible formular una expresión general que regule tales situaciones. Si la cosecha de un bosque completamente ordenado se modifica a un nuevo nivel sostenido, alguna de las tres posibilidades siguientes ocurrirá (Allison, 1978).

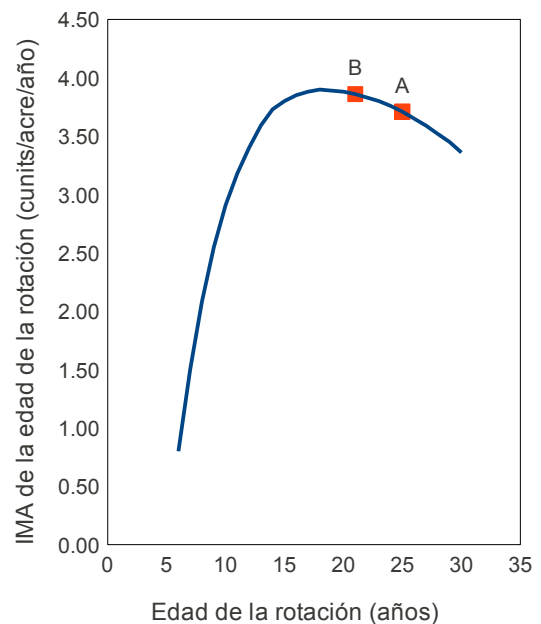
1. La estructura del bosque se re-estabilizará con una nueva edad promedio de la rotación.
2. El bosque resultará completamente agotado.
3. El bosque dejará de estar manejado.

Tabla 9.3. Cambios en la estructura de un bosque completamente ordenado al inicio al que se impone una cosecha anual de 193.000 cunits.

Clase de edad (años)	Superficie por clase de edad al final del año (acres)						
	1	2	25	50	100	200	400
1	2,083	2,085	2,167	2,234	2,315	2,368	2,380
2	2,000	2,083	2,164	2,232	2,314	2,368	2,380
3	2,000	2,000	2,159	2,230	2,313	2,368	2,380
4	2,000	2,000	2,154	2,228	2,312	2,368	2,380
5	2,000	2,000	2,149	2,225	2,311	2,368	2,380
6	2,000	2,000	2,145	2,223	2,309	2,367	2,380
7	2,000	2,000	2,138	2,220	2,308	2,367	2,380
8	2,000	2,000	2,133	2,218	2,307	2,367	2,380
9	2,000	2,000	2,129	2,215	2,306	2,367	2,380
10	2,000	2,000	2,125	2,212	2,305	2,366	2,380
11	2,000	2,000	2,122	2,208	2,303	2,366	2,380
12	2,000	2,000	2,119	2,204	2,302	2,366	2,380
13	2,000	2,000	2,116	2,202	2,301	2,366	2,380
14	2,000	2,000	2,112	2,199	2,300	2,365	2,380
15	2,000	2,000	2,109	2,196	2,298	2,365	2,380
16	2,000	2,000	2,106	2,194	2,297	2,365	2,380
17	2,000	2,000	2,104	2,192	2,296	2,365	2,380
18	2,000	2,000	2,101	2,189	2,294	2,364	2,380
19	2,000	2,000	2,098	2,186	2,293	2,364	2,380
20	2,000	2,000	2,095	2,183	2,291	2,364	2,380
21	2,000	2,000	2,093	2,180	2,289	2,364	2,380
22	2,000	2,000	2,090	2,178	1,638	312	11
23	2,000	2,000	2,088	1,452			
24	2,000	2,000	1,183				
25	1,917	1,831					
Acres totales	50.000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000	50,000
Volumen total (cunits)	2,193,571	2,185,648	2,037,537	1,947,481	1,851,301	1,790,468	1,776,684

Para cualquier situación dada, el resultado puede determinarse a partir de la relación del *IMA*. Consideremos de nuevo el bosque inicial completamente ordenado con una edad de la rotación de 25 años de la tabla 9.3 como un punto de partida, y supongamos que se le impone una cosecha continua de 225.000 cunits por año. Dado que el bosque posee 50.000 acres, un *IMA* promedio a la edad de la rotación de 4,5 cunits por acre por año (225.000 cunits por año/50.000 acres) sería necesario para sostener esta cosecha a perpetuidad. Observando la tabla 9.2 se demuestra que no hay edad de rotación que produzca un valor del *IMA* de tal magnitud. Entonces, será imposible desarrollar una estructura estable del bosque que produzca 225.000 cunits por año y una cosecha continua de 225.000 cunits por año agotará completamente las existencias con el tiempo (la simulación muestra que, en este caso, las últimas existencias serían cortadas en el año 43 de cosechas incrementadas).

Por otra parte, supongamos que el mismo bosque completamente ordenado inicial con una edad de la rotación de 25 años es afectado a cosechas continuas de 172.500 cunits por año. En este caso, la edad promedio de la cosecha inicialmente aumentará, llevando a una disminución del *IMA* de la edad de la rotación. El *IMA* que se requiere para un crecimiento sostenido de 172.500 cunits por año es  $172.500/50.000 = 3,45$  cunits por acre por año. Refiriéndonos a la tabla 9.2 o a la figura 9.2 se observa que tal *IMA* se produce en un bosque completamente ordenado con una edad de la rotación de 29 años. Por lo tanto, la imposición continua de una cosecha de 172.500 cunits por año resultaría finalmente en una estructura estable del bosque con una edad de la rotación de 29 años.



*Figura 9.2: IMA de la edad de la rotación en relación con la edad de la rotación para la relación de rendimiento de la tabla 9.1.*

Finalmente, consideremos la situación en la que el bosque completamente ordenado con una rotación de 25 años es sometido a la corta de 50.000 cunits por año. El valor del *IMA* requerido para producir este nivel de crecimiento es  $50.000/50.000 = 1,00$  cunit por acre por año. Bajo este nivel de cosechas de 50.000 cunits, las edades de cosecha se incrementarán a partir de los 25 años, pero ninguna edad de cosecha mayor, dentro del rango de la tabla de producción, produce un *IMA* tan bajo como 1,00 cunit por acre por año. Así, las edades de cosecha continuarán incrementándose hasta algún impredecible máximo, punto en el cual la mortalidad por causas naturales tendrá probablemente un impacto mayor en la estructura del bosque que las cosechas. Cuando esto ocurre, el bosque ha dejado de estar manejado.

Las relaciones como las mencionadas tienen algunas implicancias de manejo significativas. Primero, debería notarse que un bosque completamente ordenado que se manejó con una rotación mayor que la del máximo *IMA* presenta algunas características deseables. Si las cortas se incrementan desde el nivel de corta de equilibrio, tal bosque deviene más productivo y puede re-estabilizarse a una edad de la rotación promedio menor. Aún en los casos en que la re-estabilización es imposible, el agotamiento de las existencias a menudo se desarrolla muy lentamente, de manera que la empresa cuenta con un tiempo adecuado para el establecimiento de bosques adicionales, los que pueden ser comerciales con anterioridad al agotamiento del bosque original. Por lo tanto, un bosque completamente ordenado con una edad de la rotación mayor que la rotación del máximo *IMA* constituye un patrimonio valioso para empresas que contemplan la expansión de sus cosechas. Por otra parte, la creación de tales bosques implica costos económicos significativamente mayores que aquellos asociados con otros bosques igualmente productivos.

Ya fue señalado que las consideraciones económicas usualmente resultan en la selección de edades de la rotación por debajo de la rotación del máximo *IMA*. Bosques completamente

ordenados que se manejan con rotaciones menores que la del máximo *IMA* presentan características muy indeseables en situaciones de expansión de las cosechas. Cuando las cosechas se incrementan por encima del nivel de equilibrio, la edad promedio de la rotación disminuye y llega más abajo que la edad del *IMA* máximo. Esto produce una disminución asociada en la productividad del bosque, la cual en su momento resultará en una reducción crecientemente más rápida de las existencias. Los bosques de este tipo pueden agotarse muy rápidamente cuando los volúmenes cosechados anualmente exceden la cosecha sustentable de equilibrio.

## **9.2 PREDICCIÓN DE LOS CAMBIOS ESTRUCTURALES EN BOSQUES INCOMPLETAMENTE ORDENADOS**

Esta sección presenta la metodología para la predicción de los eventos subsecuentes cuando una cosecha anual constante y continua se impone a un bosque con cualquier estructura inicial. Para simplificar la situación, continuaremos asumiendo que todos los rodales del bosque están creciendo ahora, y lo harán en el futuro, de acuerdo con la función de producción mostrada en la tabla 9.1. Ahora, sin embargo, dejaremos de lado el supuesto de que el mismo número de acres están inicialmente presentes en cada clase de edad y, en cambio, solamente asumiremos que el número de acres en cada clase de edad es conocido. Esta situación es mucho más compleja que las discutidas previamente, pero algunas técnicas para el tratamiento del problema están disponibles.

Primero, es posible formular la siguiente expresión general. Si una cosecha anual, constante y significativa, se impone a un bosque de rodales coetáneos (con los rodales de mayor edad cosechados primero), una de las dos posibilidades siguientes ocurrirá (Allison, 1978):

1. El bosque resultará completamente agotado.
2. Un bosque completamente ordenado se desarrollará eventualmente.

El término *significativo* ha sido incluido como un calificador del nivel de cosechas para excluir el poco interesante caso en el cual la edad promedio del bosque se incrementa hasta el punto en que el bosque esencialmente deja de estar manejado. El hecho de que la alternativa 1 pueda ocurrir podría no resultar sorprendente para nadie, pero el hecho de que si 1 no ocurre, un bosque completamente ordenado resultará, no es intuitivamente obvio y no ha sido ampliamente reportado en la literatura.

Hay dos aspectos esenciales en esta situación, uno implica consideraciones de corto plazo y el otro es una cuestión del desarrollo a largo plazo. El aspecto de corto plazo está casi íntegramente relacionado con el monto y distribución por clases de edad de las existencias iniciales, mientras que los aspectos de largo plazo dependen del potencial de crecimiento presente en el bosque. La naturaleza del bosque completamente ordenado que se desarrolla si las existencias no se agotan puede predecirse sin acudir a cálculos voluminosos. Como antes, la naturaleza de este bosque es función del nivel de cosechas y de la curva del *IMA*.

Consideremos, por ejemplo, un bosque de 100.000 acres al cual se le impone un nivel de cosechas continuas de 390.000 cunits por año. Un bosque completamente ordenado que produzca este monto de crecimiento anual tendría un *IMA* en la edad de la rotación de 3,90 cunits por acre

por año. La tabla 9.2 (o la figura 9.2) muestra que la única edad de la rotación que producirá este *IMA* es 18 años (la edad del *IMA* máximo). Así, si una cosecha de 390.000 cunits por año es removida de *cualquier* bosque de 100.000 acres cuyos rodales crecen de acuerdo con la función de producción mostrada en la tabla 9.1, y si el bosque no resulta agotado por este nivel de cosecha, el bosque que resultará es uno completamente ordenado con una rotación de 18 años.

Como un segundo ejemplo, supongamos que un bosque de 100.000 acres es cosechado a un tasa constante y continua de 359.000 cunits por año. El monto del crecimiento anual en un bosque completamente ordenado requeriría un *IMA* a la edad de la rotación de 3,59 cunits por acre por año. Este *IMA* se produce en un bosque completamente ordenado con una edad de la rotación de 13 años y también en un bosque completamente ordenado con una edad de la rotación de 27 años. En consecuencia, si una cosecha de 359.000 cunits por año se impone a *cualquier* bosque de 100.000 acres en el cual aplica la función de producción previamente mencionada, y si el bosque sustenta esta cosecha, la consecuencia a largo plazo será un bosque completamente ordenado, ya sea con una rotación de 13 años o con una rotación de 27 años. Cual de los dos ocurrirá depende del monto de las existencias y su distribución por clases de edad al inicio.

Determinar si las existencias resultarán agotadas antes que en una estabilización del bosque es un problema más difícil y solamente puede resolverse desarrollando cálculos que impliquen la imposición de los niveles de cosecha y la actualización de la distribución por clases de edad, año a año. La tabla 9.4 muestra algunos detalles de tal simulación en el bosque para un período de 10 años. El bosque involucrado tiene 100.000 acres y la mayor de las clases de edad en la distribución inicial es la de 23 años. Durante cada uno de los 10 años se remueve un volumen de cosecha de 375.000 cunits. La figura 9.3 muestra una comparación gráfica de la distribución inicial de las clases de edad con la que resulta al final del período de 10 años de cosechas.

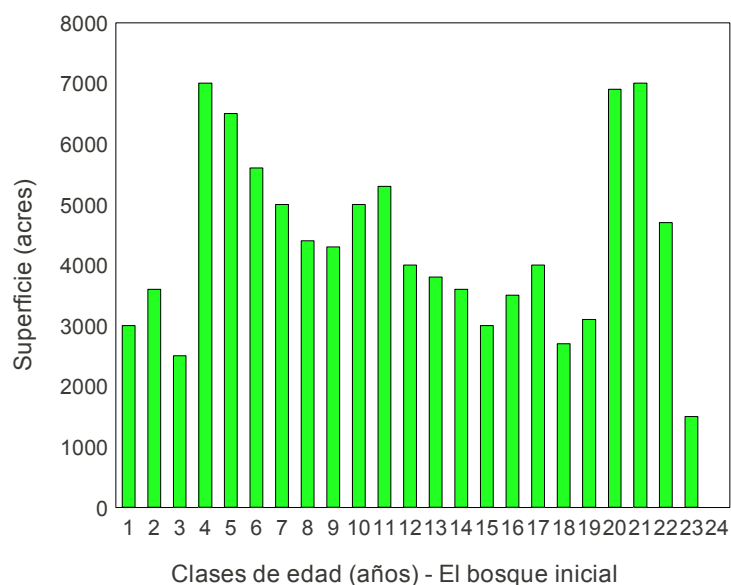
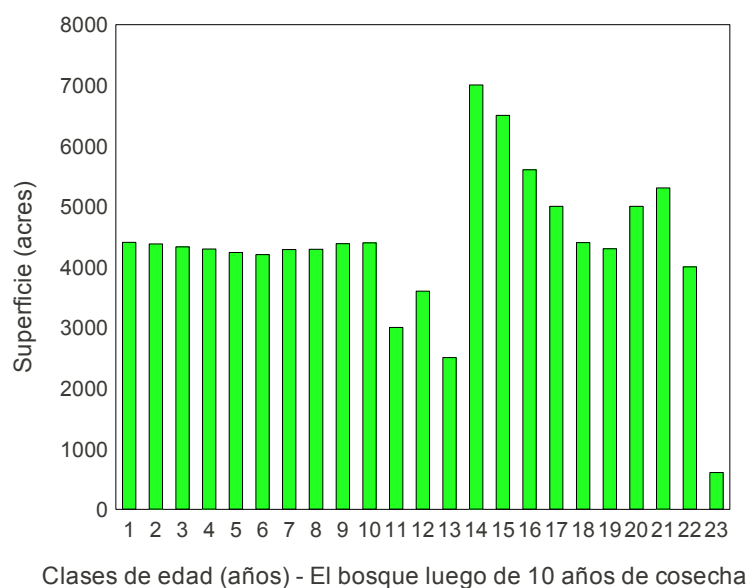


Figura 9.3: Distribución por clases de edad antes y después de un período de 10 años de cosecha.



*Figura 9.3: Distribución por clases de edad antes y después de un período de 10 años de cosecha (continuación).*

Los cálculos de la tabla 9.4 se programan fácilmente para su implementación en computadoras, y es solamente a través de su uso que tales cálculos pueden ser realizados prácticamente. El resultado de simulaciones por computadora para cuatro bosques diferentes se muestran en la figura 9.4. Los cuatro bosques tienen una extensión de 100.000 acres y tienen existencias volumétricas iniciales de 2.400.000 cunits. Las cuatro simulaciones imponen una cosecha constante de 385.000 cunits por año. Dos de los bosques mostrados son incapaces de soportar este nivel de cosechas y el agotamiento total del bosque ocurre en el 14° año de cosechas en un caso y en el 93° año de cosechas en el otro caso. Cada uno de los otros bosques son capaces de sostener el nivel de cosechas de 385.000 cunits por año y ambos se convierten al final en bosques completamente ordenados con una rotación promedio de 21,32 años. Sin embargo, las velocidades con las que estos dos bosques se aproximan a la estructura de equilibrio son considerablemente diferentes. Este ejemplo ilustra el importante asunto de que, en general, es imposible de responder sin acudir a simulaciones si un bosque con unas existencias volumétricas totales dadas sostendrá algún nivel de cosecha especificado.

### **9.3 DETERMINACIÓN DE LA COSECHA SUSTENTABLE MÁXIMA**

Un problema de considerable significación práctica implica la determinación del nivel máximo de cosechas continuas y constantes que puede imponérsele a un bosque dado y ser sostenidas a perpetuidad. A este nivel se lo denominará *cosecha sustentable máxima* o *rendimiento sostenido máximo*. La determinación de la cosecha sustentable máxima requiere simulaciones repetidas por computadora con niveles de cosecha variable. Dos casos son de interés. El primero considera la determinación de la cosecha sustentable máxima con una base constante de tierra. En el segundo caso, solamente el nivel de existencias iniciales es fijo, con varias extensiones de tierra desnuda adicionales disponibles para su uso en la maximización de la cosecha sustentable. Ambos procedimientos son ilustrados con un bosque hipotético de rotación corta.

Tabla 9.4. Distribución por clases de edad durante un período de cosechas de 10 años.

Clase de edad (años)	Superficie por clase de edad al final del año (acres)					
	0	1	2	3	6	10
1	3,000	4,395	4,383	4,291	4,237	4,405
2	3,600	3,000	4,395	4,383	4,201	4,377
3	2,500	3,600	3,000	4,395	4,286	4,327
4	7,000	2,500	3,600	3,000	4,291	4,294
5	6,500	7,000	2,500	3,600	4,383	4,237
6	5,600	6,500	7,000	2,500	4,395	4,201
7	5,000	5,600	6,500	7,000	3,000	4,286
8	4,400	5,000	5,600	6,500	3,600	4,291
9	4,300	4,400	5,000	5,600	2,500	4,383
10	5,000	4,300	4,400	5,000	7,000	4,395
11	5,300	5,000	4,300	4,400	6,500	3,000
12	4,000	5,300	5,000	4,300	5,600	3,600
13	3,800	4,000	5,300	5,000	5,000	2,500
14	3,600	3,800	4,000	5,300	4,400	7,000
15	3,000	3,600	3,800	4,000	4,300	6,500
16	3,500	3,000	3,600	3,800	5,000	5,600
17	4,000	3,500	3,000	3,600	5,300	5,000
18	2,700	4,000	3,500	3,000	4,000	4,400
19	3,100	2,700	4,000	3,500	3,800	4,300
20	6,900	3,100	2,700	4,000	3,600	5,000
21	7,000	6,900	3,100	2,700	3,000	5,300
22	4,700	7,000	6,900	3,100	3,500	4,000
23	1,500	1,805	4,422	6,900	4,000	604
24				132	107	
Acres totales	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000
Volumen total (cunits)	3,809,796	3.824.268	3.854.745	3.881.367	3.933.555	3.978.454

La tabla 9.5 muestra la función de rendimiento para el bosque que se considerará en el ejemplo. La distribución inicial de acres por clases de edad se muestra en la tabla 9.6. La extensión total del bosque es de 50.000 acres. El estudio de la tabla 9.5 muestra que el máximo valor del *IMA* para la tabla de producción ocurre a los 10 años de edad en la que se obtiene un valor de 4,60 cunits por acre por año. En consecuencia, independientemente de las existencias actuales, la cosecha sustentable máxima difícilmente puede exceder los  $50.000(4,60) = 230.000$  cunits por año si la base de tierra se mantiene fija. La tabla 9.7 muestra los resultados de la simulación repetida a partir de la estructura inicial mostrada en la tabla 9.6 y con niveles de cosecha variable. Los resultados muestran que un nivel continuo de cosechas de 213.000 cunits por año agotarán completamente las existencias en 38 años. Sin embargo, un nivel de cosechas de 212.000 cunits por año puede sostenerse a perpetuidad. Entonces, la cosecha sustentable máxima (redondeada a los 1.000 cunits más próximos) es de 212.000 cunits por año.



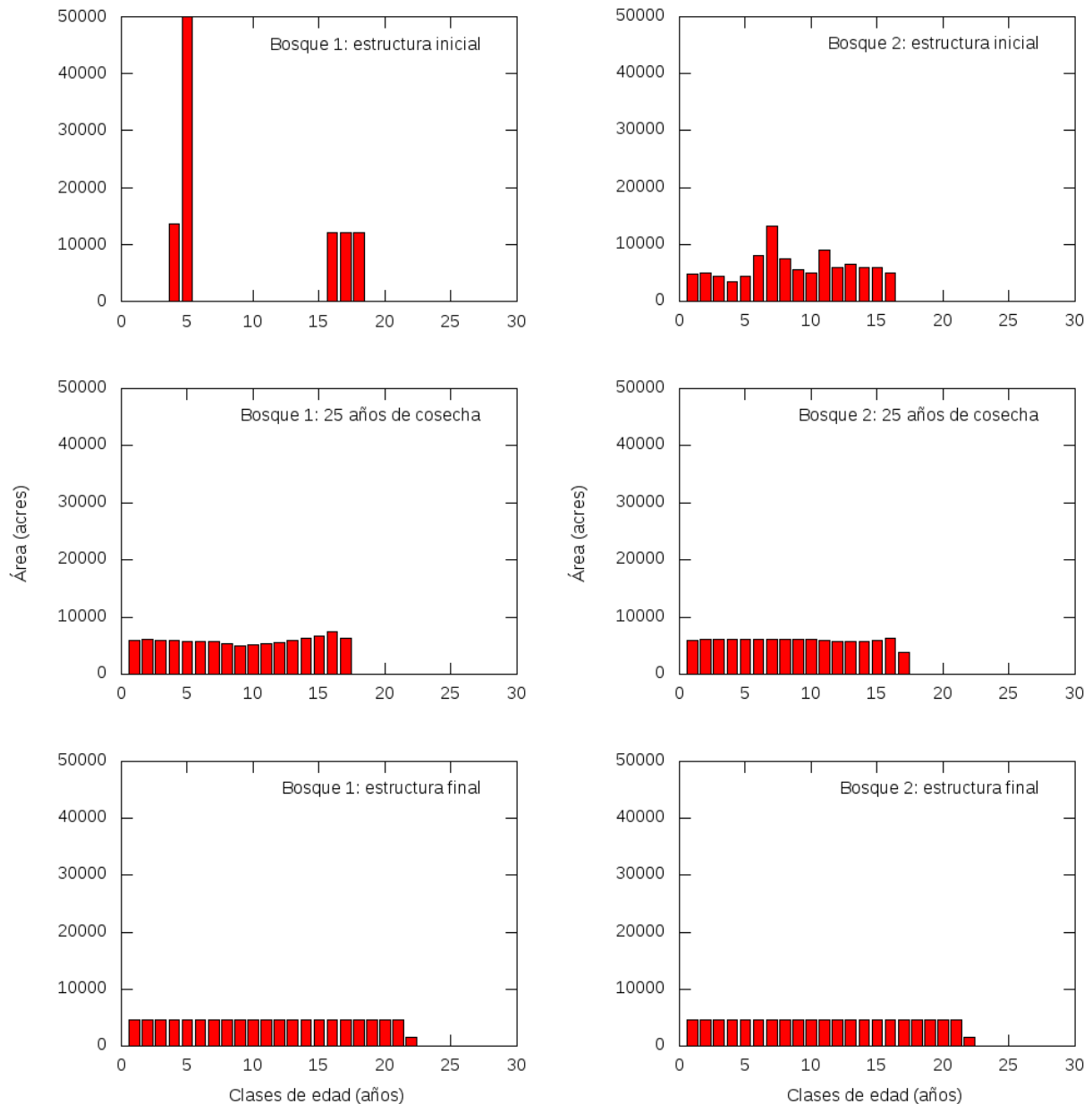


Figura 9.4: Resultados de la simulación para cuatro bosques de 100.000 acres.

Ahora consideremos la determinación del máximo rendimiento sostenido con una base de tierra incremental. En esta situación, se analiza la posibilidad de incrementar la cosecha sustentable máxima a través de la incorporación de tierra desnuda. El resultado es un valor de la cosecha sustentable máxima para cada nivel de adición de tierra. Desde el punto de vista del cómputo, las simulaciones en los bosques deben repetirse iterativamente, variando tanto el nivel de cosecha como la superficie agregada al bosque actual. A esta última magnitud se la identificará como *superficie de la clase de edad 0*, dado que estos acres pueden ser tratados en la distribución inicial de las clases de edad como pertenecientes a la clase de edad de "0 años". Los acres en la clase de edad de 0 años pasan a la clase de edad de 1 año después de las cosechas del primer año. Los acres cosechados también pasan a la clase de edad de 1 año. Los acres en la clase de edad 0 representan tierras que podrían ser adquiridas inmediatamente y forestadas a tiempo para ser

incluidas en la clase de edad de 1 año en un punto en el tiempo de aquí a un año. En el presente análisis, tales acres sólo existen en la declaración de las características iniciales del bosque.

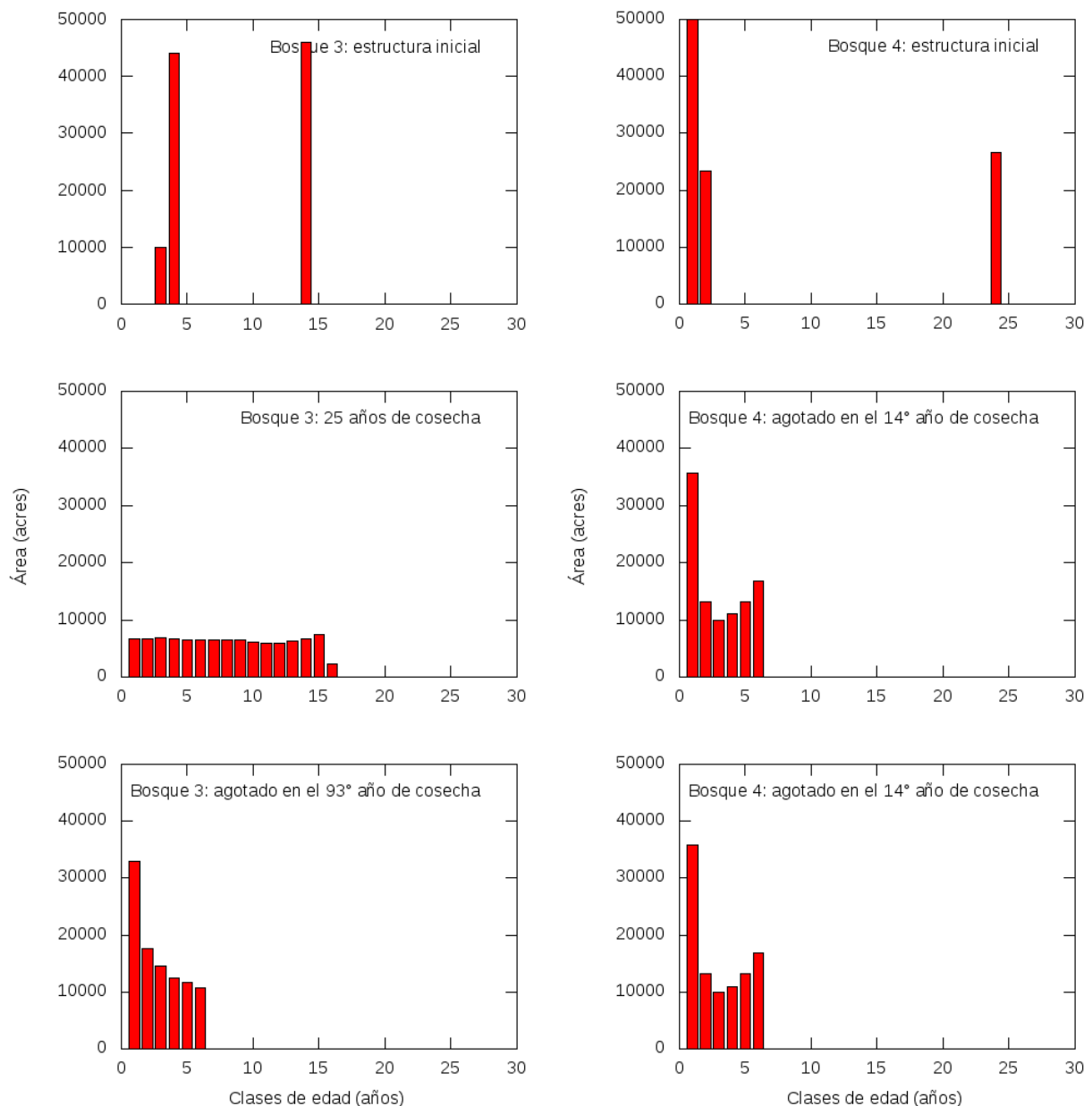


Figura 9.4: Resultados de la simulación para cuatro bosques de 100.000 acres (continuación).

El procedimiento se ilustra usando la estructura inicial del bosque mostrado en la tabla 9.6. y la función de producción dada en la tabla 9.5. Los resultados de las simulaciones con varias combinaciones de niveles de corta y acres en la clase de edad 0 se muestran en la tabla 9.8. Los resultados mostrados en la tabla 9.7 indicaban que la cosecha sustentable máxima para las existencias actuales del bosque eran 212.000 cunits por año. Las simulaciones de la tabla 9.8. muestran que se podrían imponer niveles mayores de cosecha inmediatamente si el bosque fuera expandido inmediatamente. Por ejemplo, si se compraran y plantaran 20.000 acres inmediatamente, una cosecha de 245.000 cunits por año podría imponerse inmediatamente y ser

sostenida. Una cosecha anual continua de 245.000 cunits por año resultará, en el largo plazo, en el desarrollo de un bosque completamente ordenado con una rotación promedio de 18,53 años.

Tabla 9.5. Tabla de rendimiento de un hipotético bosque de corta rotación.

<b>Clase de edad (años)</b>	<b>Rendimiento (cunits/acre)</b>	<b>Incremento medio anual (cunits/acre/año)</b>
3	3,00	1,00
4	8,40	2,10
5	14,10	2,82
6	20,40	3,40
7	26,95	3,85
8	33,60	4,20
9	40,32	4,48
10	46,00	4,60
11	50,05	4,55
12	54,00	4,50
13	57,46	4,42
14	58,80	4,20
15	60,00	4,00
16	60,80	3,80
17	61,20	3,60
18	61,50	3,42
18+	61,50	

Tabla 9.6. Estructura inicial de un hipotético bosque de corta rotación.

<b>Clase de edad (años)</b>	<b>Área (acres)</b>
1	6,100
2	7,200
3	7,900
4	6,700
5	5,800
6	4,400
7	3,600
8	3,000
9	2,600
10	2,200
11	500
Total	50,000

Bien podría cuestionarse la conveniencia de la expansión del bosque que acaba de ser analizada. La extensión del bosque ha sido ampliada en 40% mientras el incremento de la cosecha sustentable máxima fue de aproximadamente 16%. Sin embargo, es importante recordar que la cosecha sustentable máxima no es una magnitud estática. En cualquier bosque realista, este valor nunca permanecerá constante de un año a otro. Los análisis muestran que el nuevo bosque de 70.000 acres, manejado con un nivel de cosecha de 245.000 cunits por año, tendría dentro de 10

años una cosecha sustentable máxima (sin incorporaciones ulteriores de tierra) de 280.000 cunits por año. Así, la inmediata compra de 20.000 acres no solamente posibilita un incremento inmediato de 33.000 cunits en la cosecha anual sustentable sino que también genera la posibilidad de una expansión adicional en la capacidad de 35.000 cunits por año dentro de 10 años. Este ejemplo ilustra bien el principal problema que enfrentan los administradores de bosques del mundo real: ¿cuál es la mejor gestión del bosque para cumplir demandas y obligaciones inmediatas y, simultáneamente, implementar los cambios en la estructura que lo prepararán para circunstancias futuras? Este es un problema mucho más realista e interesante que el problema que planteaba la ordenación forestal tradicional de crear un bosque completamente ordenado.

Ahora debería ser obvio que la cosecha sustentable máxima es un parámetro de la mayor importancia práctica para empresas forestales cuyas industrias dependen por completo de la madera proveniente de sus propios bosques. Si tales empresas llegaran alguna vez a una situación en que el consumo de sus industrias exceda la cosecha sustentable máxima, una de dos eventualidades subsecuentes debe ocurrir:

1. El consumo de la industria deberá reducirse cerrando algunas de sus instalaciones.
2. El bosque resultará completamente agotado.

Para la mayoría de las empresas, ninguna de estas consecuencias podría considerarse un bienvenido desarrollo.

Tabla 9.7. Resultados de la simulación de las cosechas en el bosque inicial mostrado en la tabla 9.6.

<b>Nivel de cosecha (cunits/año)</b>	
200,000	La cosecha se puede sostener
210,000	La cosecha se puede sostener
211,000	La cosecha se puede sostener
212,000	La cosecha se puede sostener
213,000	Las existencias se agotan en el año 38
214,000	Las existencias se agotan en el año 28
215,000	Las existencias se agotan en el año 24
220,000	Las existencias se agotan en el año 16
230,000	Las existencias se agotan en el año 11

También debería notarse que la cosecha sustentable máxima está destinada a convertirse en un parámetro significativo en el manejo de los bosques nacionales de los Estados Unidos puesto que la Ley de Manejo de los Bosques Nacionales de 1976 (Ley Pública 94-588) exige que, con ciertas y limitadas excepciones, las cortas anuales de cada bosque nacional no deberán ser mayores que la cosecha sustentable máxima.

Tabla 9.8. Resultados de la simulación de las cosechas en el bosque inicial mostrado en la tabla 9.6.

Nivel de cosecha (cunits/año)	Acres de la clase de edad 0					
	0	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000
215,000	A-24	S	S	S	S	S
225,000	A-13	S	S	S	S	S
235,000	A-10	A-22	S	S	S	S
245,000	A-8	A-11	S	S	S	S
255,000	A-7	A-8	A-13	S	S	S
265,000	A-6	A-7	A-9	A-20	S	S
275,000	A-5	A-6	A-7	A-8	S	S
285,000	A-5	A-5	A-6	A-7	A-8	S
295,000	A-5	A-5	A-5	A-6	A-6	A-8

Nota: "A-n" indica el agotamiento de las existencias en el año n. "S" indica que se puede sostener el nivel de cosecha.

Los resultados de la tabla 9.8 también pueden ser usados para ilustrar un concepto que recientemente se reconoció como el *efecto posibilidad* (Schweitzer *et al.*, 1972; N. del T.: en inglés, el efecto también es referido como *ACE* por ser el acrónimo del concepto: *allowable cut effect*). El bosque al cual aplica la tabla 9.8 tiene una cosecha sustentable máxima, sin aumentos en la base de tierras, de 212.000 cunits por año. La cosecha sustentable máxima con un incremento de 20.000 acres a la base de tierras es de 245.000 cunits por año. Un análisis económico convencional, interesado en la compra de tierras adicionales, estudiaría los costos de adquisición inicial y los flujos de caja generados por los costos silviculturales subsecuentes y los ingresos por cosechas de madera generados por las actividades en las tierras compradas. Sin embargo, si el bosque se está manejado en un entorno en que las cortas, en cualquier año, deben ser mayores o iguales que las del año precedente (rendimiento sostenido indeclinante), se puede argumentar que la adquisición de tierra adicional permitirá un incremento inmediato en las cosechas anuales desde 212.000 hasta 245.000 cunits por año, de modo que los beneficios económicos generados por el nuevo nivel de cosecha podrían ser legítimamente incluidos en el análisis de compra de las tierras. Puesto que estos beneficios son inmediatos en sus efectos, el costo justificable de adquisición de las tierras, con el efecto posibilidad incluido, será por lo general considerablemente mayor que el resultado que se obtiene descontando los flujos de caja generados directamente por las tierras en cuestión. También debe tenerse en cuenta que otras actividades, además de la incorporación de tierras, producen el efecto posibilidad. Por ejemplo, cualquier práctica silvícola (fertilización, drenaje, control de la vegetación competidora, etc.) que altere la función de rendimiento dada en la tabla 9.5 afectarán los valores de la cosecha sustentable máxima de la tabla 9.8 y, en un entorno de rendimiento sostenido indeclinante, tales prácticas generarían un efecto posibilidad.

Varios autores (*e.g.* Teegarden, 1973; Walter, 1977; Clawson, 1977) han cuestionado la validez de los análisis económicos basados en el efecto posibilidad. A pesar de que un examen detallado de la cuestión es inapropiado aquí, ofrecemos los siguientes comentarios generales: (1) las controversias relativas al efecto posibilidad son más una cuestión semántica que económica, y (2) las principales objeciones al análisis del efecto posibilidad usualmente provienen más de la incapacidad de los analistas para incluir todas las estrategias relevantes que de la conexión con la posibilidad o corta admisible *per se*. Por ejemplo, consideremos un bosque que se ha establecido

en un período de años para sostener una planta de procesamiento futura. Supongamos que el bosque, bajo las prácticas corrientes, es capaz de sostener la planta de tamaño mínimo a perpetuidad empezando dentro de 5 años. Sin embargo, si la fertilización de determinados rodales se emprendiera inmediatamente, las tasas de crecimiento se incrementarían a un punto en que la planta podría ser construida inmediatamente y sostenida. Si esperar sin fertilización y la operación inmediata con fertilización son verdaderamente las únicas estrategias disponibles, no se cometen errores asignando los beneficios económicos de la operación inmediata a la actividad de fertilización. Sin embargo, si la industria pudiera ser abierta inmediatamente mediante la simple compra de la madera necesaria en el mercado, la conexión de la apertura inmediata con la fertilización está claramente injustificada y es falaz. Si todas las estrategias factibles son identificadas, y los correspondientes flujos de caja que resultarían son correctamente especificados, el cálculo del valor actual asociado con las diferentes estrategias expresará apropiadamente cualquier efecto posibilidad que legítimamente exista.

#### **9.4 CONSIDERACIÓN DE ESTRUCTURAS DE BOSQUES MÁS COMPLEJAS**

La discusión presentada previamente en este capítulo trataba con bosques hipotéticos de estructura relativamente simple. Aunque la mayoría de los bosques del mundo real son considerablemente más complejos, una apropiada comprensión conceptual de la dinámica de los bosques en los casos idealizados brinda una considerable perspectiva en relación con el comportamiento de estructuras más realistas de los bosques. Sin embargo, cualquier análisis completo de la dinámica de las estructuras en bosques complejos requerirá de técnicas más generales que las que se consideraron hasta aquí.

Los procedimientos previamente presentados habían asumido que todos los rodales del bosque tenían una curva de rendimiento en común. Obviamente, este es un supuesto que comúnmente no se cumple en la realidad. Varias técnicas pueden aplicarse en situaciones en que se impliquen múltiples funciones de producción. Algunas de estas técnicas son aplicables a situaciones estrictamente especializadas. Otras son más generales.

Quizás la generalización más simple de la situación con una sola función de producción es la de un bosque conformado solamente por una especie (o tipo forestal) en la cual existen varias funciones de producción a causa de la variabilidad de sitios dentro del bosque. En tales casos, la relación entre dos curvas de producción cualesquiera es, a menudo, la de una proporción aproximadamente igual. Cuando esto ocurre, los rodales pueden medirse en términos de *acres estándar*, se puede preparar una distribución inicial de acres estándar por clases de edad y se pueden aplicar a los bosques los procedimientos de simulación previamente discutidos. Como un ejemplo de esta técnica, consideremos las curvas de producción mostradas en la figura 9.5 para tres clases de calidad de sitio diferentes. La distribución inicial por clases de edad para cada clase de calidad de sitio se muestra en la tabla 9.9.

La figura 9.5 muestra que los rendimientos de la clase I de calidad de sitio son aproximadamente un tercio mayores que las correspondientes a la clase II de calidad de sitio a igual edad, mientras que los rendimientos de la clase III de calidad son aproximadamente la mitad de los de la clase II. Cualquiera de las tres clases de sitio podría usarse como estándar de comparación de las restantes. Aquí se usará la clase II como estándar. Esto equivale a definir un acre estándar como “aquella unidad de tierra necesaria para producir 60 cunits a los 30 años de edad” (la elección de

la edad de 30 años también es arbitraria; el uso de cualquier otra edad y sus rendimientos asociados de la clase II de calidad de sitio serían equivalentes). Esto provee las siguientes relaciones:

0,75 acres de tierra de la clase de calidad de sitio I = 1 acre estándar

1,00 acre de tierra de la clase de calidad de sitio II = 1 acre estándar

2,00 acres de tierra de la clase de calidad de sitio III = 1 acre estándar.

Estas conversiones han sido aplicadas a la tabla 9.9 para obtener la distribución por clases de edad expresada en acres estándar que se muestra en la tabla 9.10. El bosque mostrado en la tabla 9.10 es esencialmente un bosque de la clase II de calidad de sitio, el que desde el punto de vista de la dinámica de los bosques es equivalente al bosque de varias clases de calidad sitio de la tabla 9.9. Las simulaciones de los bosques del tipo descrito en la sección 9.3 se pueden usar para establecer la cosecha sustentable máxima para el bosque definido en la tabla 9.10. El valor obtenido también será la cosecha sustentable máxima para el bosque con varias calidades de sitio de la tabla 9.9.

En muchas situaciones, las curvas de rendimiento apropiadas para diferentes estratos del bosque no serán proporcionales, en cuyo caso un consolidación por medio de acres estándar será inapropiada. El procedimiento correcto, entonces, depende de la naturaleza de la situación. Si los estratos representan especies distintas o diferencias significativas en las clases de edad (*e.g.* vírgenes *versus* secundarios), los rendimientos de un estrato no pueden ser sustituidos por aquellos provenientes de otros. En esta situación, la cosecha sustentable máxima por estrato es probablemente de mayor interés que una cifra global y cada estrato se trata simplemente como un bosque independiente a los fines de la simulación.

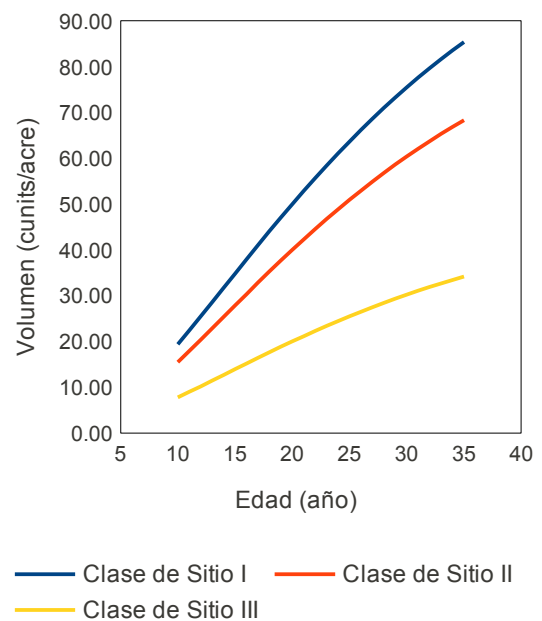


Figura 9.5: Curvas de rendimiento para tres clases de calidad de sitio.

Tabla 9.9. Distribución de las áreas para un bosque hipotético con tres clases de calidad de sitio

Clase de edad (años)	Superficies por clase de calidad de sitio (acres)			
	I	II	III	
1	500	240	90	
2	160	210	150	
3	140			
4	600	650	210	
5		326	200	
6		404	456	
7	712	602	515	
8		1.100	320	
9		850	716	
10	432	114	490	
11	505	196	321	
12	380	305	204	
13	916	471	187	
14	780	492	138	
15	412	517		
16		602		
17		520		
18		488		
19		390		
20		367		
Totales	5537	8.844	3.997	18.378

En casos donde resulta inapropiado el tratamiento de los estratos como bosques separados, la única alternativa es utilizar un programa de simulación más complejo que iterativamente imponga cosechas especificadas y mantenga una distribución de las clases de edad separada para cada estrato. Conceptualmente, esto no constituye una dificultad, pero en la práctica surgen dos problemas. Primero, el número de estratos puede ser demasiado grande. Segundo, no es aparente ningún orden natural de asignación de las cosechas a las combinaciones de estrato y clase de edad. A manera de ilustración, un bosque podría ser dividido en estratos basados en combinaciones de densidad de los rodales, índice de sitio y tipos forestales. Si se definen 3 clases de densidad, 5 clases de índices de sitio y 8 tipos forestales, habrá 120 estratos con distribuciones separadas de acres por clase de edad para cada uno. Con los equipos de computadoras contemporáneos, la magnitud de los cálculos involucrados es aún realizable, pero las prioridades que debieran usarse para asignar la cosecha de cada año entre los diferentes estratos no es, de ninguna manera, obvia. En general, aún será ventajoso cortar los rodales más viejos primero, pero las edades en tipos forestales diferentes no serán directamente comparables. Además, se debe considerar que las prioridades de cosecha más altas deberían darse a los estratos de baja densidad, de modo que esas áreas puedan ser regeneradas a rodales que utilizarán más completamente el potencial productivo de las superficies de tierra involucrados. En general, si los rodales actuales van a ser reemplazados por rodales de mayor productividad (*e.g.* rodales naturales reemplazados por plantaciones), es obvio que alguna prioridad debería acordarse para la cosecha de los estratos de mejor calidad de sitio puesto que la productividad ganada por la conversión será la mayor para estos estratos. Ordenar las cosechas en estas situaciones es ahora



obviamente un problema de cierta complejidad. De hecho, la determinación del orden óptimo es, para bosques complejos, un problema económico de abrumadora importancia. En el próximo capítulo se consideran los métodos para la solución de estos problemas.

Tabla 9.10. Distribución de acres estándar para el bosque de varias clases de calidad sitio definido en la tabla 9.9.

<b>Clase de edad (años)</b>	<b>Superficie (acres estándar)</b>
1	951,67
2	498,33
3	186,67
4	1555,00
5	426,00
6	632,00
7	1808,83
8	1260,00
9	1208,00
10	935,00
11	1029,83
12	913,67
13	1785,83
14	1601,00
15	1066,33
16	602,00
17	520,00
18	488,00
19	390,00
20	367,00
<b>Total</b>	<b>18.225,16</b>

Es posible simular el desarrollo de bosques complejos a través del tiempo sin agregaciones de rodales componentes en estratos. Cada rodal puede ser tratado como una entidad independiente que se regenera luego de la cosecha y crece de acuerdo con cualquier curva de rendimiento que sea apropiada. En cualquier bosque realista, el número total de rodales puede ser, por supuesto, demasiado grande. Sin embargo, el principal problema para obtener resultados significativos a partir de tales simulaciones nuevamente implican el ordenamiento de los rodales para su cosecha. Muchos órdenes son posibles, y la secuencia óptima es rara vez, si no siempre, intuitivamente obvia. Métodos de prueba y error se usan a veces para evaluar secuencias alternativas, pero los abordajes efectivos para este problema generalmente requieren la aplicación de la metodología presentada en el próximo capítulo.