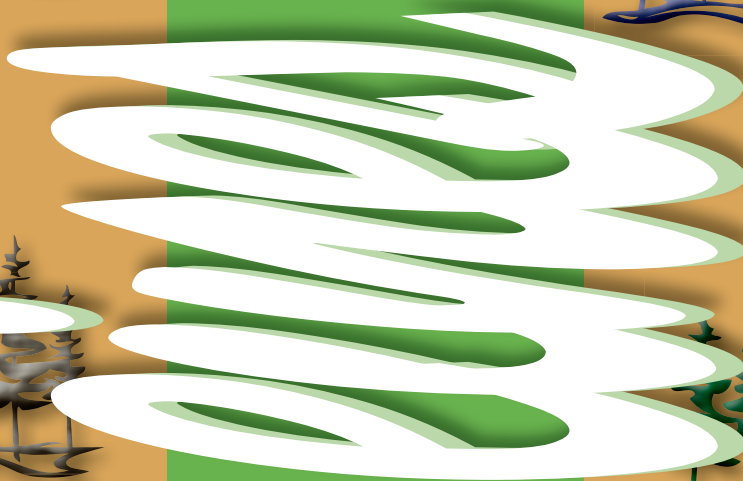
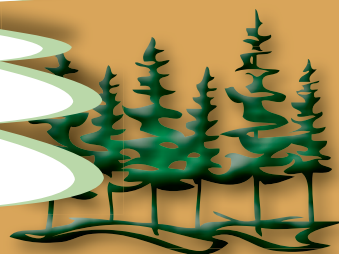
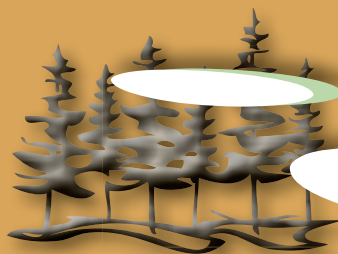
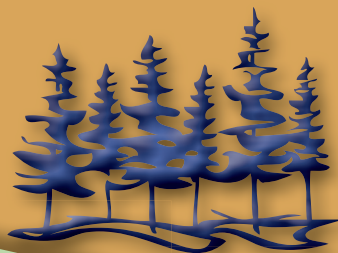
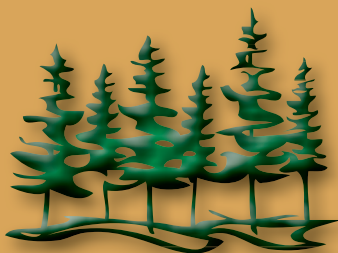
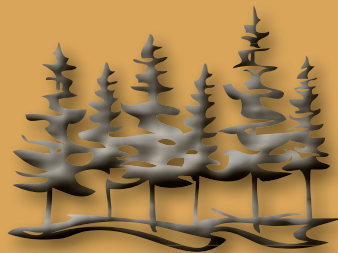
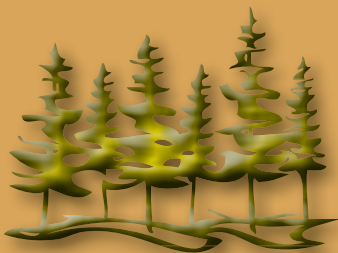
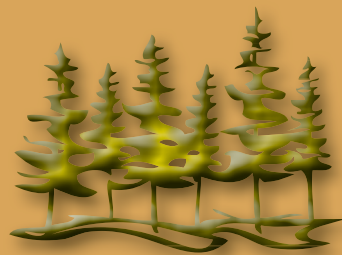
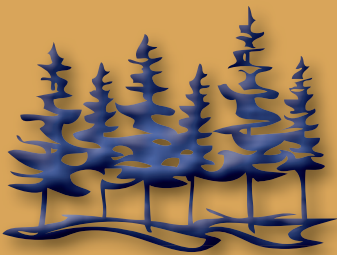


Ordenación forestal

Ejercicios resueltos

Santiago Saura Martínez
de Toda



eines 59

Ordenación forestal: ejercicios resueltos

Santiago Saura Martínez de Toda

Departament d'Enginyeria Agroforestal
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària
Universitat de Lleida

ISBN: 978-84-8409-361-9

© Edicions de la Universitat de Lleida, 2008

© Santiago Saura Martínez de Toda

Maquetación:

Edicions i Publicacions (UdL)

Diseño de cubierta:

cat & cas

La reproducción total o parcial de esta obra por cualquier procedimiento, incluidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo público, queda rigurosamente prohibida sin la autorización de los titulares del copyright, y será sometida a las sanciones establecidas por la ley.

A Begoña, esa gran mujer detrás de este pequeño libro.

Índice

Prólogo	9
----------------------	---

PARTE I. ORDENACIÓN DE MASAS COETÁNEAS Y REGULARES

Ejercicio 1	13
Ejercicio 2	36
Ejercicio 3	39
Ejercicio 4	53
Ejercicio 5	67

PARTE II. ORDENACIÓN DE MASAS IRREGULARES

Ejercicio 6	79
Ejercicio 7	88
Ejercicio 8	98
Ejercicio 9	116
Ejercicio 10	127
Bibliografía	137
Normativa	139

Prólogo

Tras siete cursos académicos impartiendo la asignatura “Ordenación forestal” en las titulaciones de Ingeniería Técnica Forestal e Ingeniería de Montes en la Universitat de Lleida (asignatura con 4,5 créditos según el plan de estudios de 2001 todavía vigente en esta universidad), he reunido en este libro una parte de los ejercicios y problemas desarrollados durante este tiempo para las clases y exámenes de la asignatura, convenientemente adaptados, pulidos y ampliados, con el fin de proporcionar a los alumnos de ésta y otras asignaturas afines una herramienta útil para desarrollar, entrenar y afianzar los conocimientos y habilidades necesarios en este ámbito.

Existen ya varios libros de gran calidad que describen ampliamente los fundamentos, características, ventajas e inconvenientes de los distintos métodos de ordenación, así como la estructura y contenido de los proyectos de ordenación, planes dasocráticos o planes técnicos de gestión. Sin embargo, son mucho más escasos los ejercicios prácticos y numéricos que aplican a casos concretos los conceptos y fundamentos de dichos métodos. La experiencia de estos años me ha demostrado que es precisamente en estos aspectos cuantitativos donde los alumnos encuentran más dificultades y donde, sin el entrenamiento y la práctica adecuados, tienden a cometer más errores, incluso cuando comprenden bien los fundamentos y características generales de los métodos de ordenación correspondientes.

El libro tiene una vocación decididamente didáctica, procura ser generoso en las explicaciones y se dirige en su mayor parte a alumnos de un primer curso de ordenación forestal, con la excepción de unos pocos apartados concretos que conllevan una mayor complejidad. Pretende hacer énfasis en los aspectos cuantitativos, que nunca debemos descuidar como ingenieros que somos, y se centra en los métodos clásicos de ordenación de montes, base de muchas de las ordenaciones que se inician o se siguen aplicando actualmente en nuestros montes, así como punto de partida y referencia fundamental e indispensable para otras aproximaciones más flexibles, avanzadas o multifuncionales para la gestión de nuestros recursos forestales.

Los diez ejercicios resueltos de los que consta este libro se estructuran en dos partes con el mismo número de ejercicios, la primera dedicada a la ordenación de masas coetáneas y regulares, y la segunda a la ordenación de masas irregulares.

Como es natural, los ejercicios incorporan algunas simplificaciones, necesarias para poder abarcar su resolución dentro de los límites razonables para un libro de estas características y finalidad docente, pero los conceptos básicos y procedimientos de cálculo que aquí se incluyen se deben poder aplicar, adaptar o integrar con éxito también en otros problemas más complejos en los que intervengan un mayor número de variables y consideraciones, como consecuencia de la complejidad y gran variedad

de estructuras, funciones y objetivos de gestión que existen en los montes a lo largo y ancho de nuestro país.

Debo agradecer a mis compañeras Cristina Vega (Universitat de Lleida) y Ester Blanco (Centre Tecnològic Forestal de Catalunya) sus comentarios sobre los ejercicios incluidos en este libro y, sobre todo, a Begoña de la Fuente, por su concienzuda labor de revisión y corrección, sin cuya ayuda y experiencia como ingeniera de montes en la administración y a pie de monte, este libro, en el mejor de los casos, hubiera visto la luz mucho más tarde y menos depurado de lo que aquí se presenta.

Finalmente quiero también agradecer el apoyo de mis compañeros del Departament d'Enginyeria Agroforestal y del conjunto de la Universitat de Lleida durante todos estos años, así como del Servei d'Edicions i Publicacions, donde con tanto agrado recibieron la propuesta de este libro y donde dieron todo tipo de facilidades para su publicación.

Santiago Saura Martínez de Toda
Profesor Titular de la Universitat de Lleida
Lleida, septiembre de 2008

Parte I. Ordenación de masas coetáneas y regulares

EJERCICIO 1. Un monte de 262 hectáreas situado en Galicia y poblado de *Eucalyptus globulus* se desea ordenar mediante el método de división por cabida, con un turno de 16 años y realizándose cortas en el monte cada 4 años. Las primeras cortas a hecho se van a realizar al final del año actual.

Las tablas de producción para esta especie, el marco de plantación, y el tipo de selvicultura que se va a establecer nos proporcionan las siguientes existencias a la edad del turno para las tres calidades presentes en el monte: 315,8 m³/ha para la calidad I, 250,4 m³/ha para la calidad II y 191,7 m³/ha para la calidad III. Los datos del inventario, realizado tras el verano del año actual, se resumen en la siguiente tabla:

Cantón	Edad (años)	Calidad	Cabida (ha)	Existencias (m ³ /ha)	Crecimiento corriente (m ³ /ha-año)
1	5	I	12	29,2	11,2
2	3	II	29	11,4	No medible
3	9	I	52	93,3	18,7
4	12	I	21	183,4	22,1
5	17	III	32	159,3	9,9
6	16	II	47	202,2	15,8
7	2	II	31	6,0	No medible
8	7	II	38	42,1	13,1

Se pide:

1. Formar los tronzones de corta, teniendo en cuenta que se aceptan desviaciones de hasta el $\pm 15\%$ sobre el volumen teórico a extraer en cada uno de ellos si con ello es posible evitar la división de los actuales cantones en dos tronzones distintos. Indicar el año en que se realizarían las cortas en cada tronzón y en cuál de ellos se producen menores sacrificios de cortabilidad.

2. a) Calcular la posibilidad en el periodo de transformación en el tronzón II, suponiendo que las cortas se harán al final del año correspondiente y que los crecimientos corrientes actuales que da el inventario se pueden aplicar sin cambios durante los años necesarios para dicho cálculo.

b) Calcular la posibilidad en ese mismo tronzón II cuando el monte esté ya ordenado. Compararla con el resultado del apartado anterior (2a) y explicar las posibles causas de las diferencias existentes.

c) Calcular, en los dos casos anteriores (2a y 2b), el porcentaje del volumen total extraído en el tronzón II que corresponde a las cortas en cada uno de los cantones que lo forman, y explicar los motivos de los diferentes porcentajes obtenidos en esos dos casos.

3. Además de las operaciones de corta y extracción del arbolado, se prevé que cada plantación dé lugar a varios ciclos consecutivos de producción (es decir, tras las primeras cortas la nueva masa procederá de brote de cepa, y sólo tras unas cortas posteriores se procederá al destococonado y plantación de nuevos individuos). Se pide programar las operaciones de destococonado en cada uno de los casos siguientes, suponiendo que éstas se organizan también de acuerdo al modelo de cabida periódica propio del método de ordenación considerado, y suponiendo de manera simplificada que los tronzones de corta a hecho tienen todos la misma cabida:

a) Se mantiene el turno de 16 años y la periodicidad de las cortas en el monte cada 4 años, y se establece que cada nueva plantación dará lugar a tres ciclos de producción completos antes de destococonar.

b) Se mantiene el turno de 16 años y los tres ciclos de producción de una misma plantación, pero se contempla la posibilidad de modificar la periodicidad de las cortas a hecho en el monte y la formación de tronzones de corta correspondiente. Indicar cómo se podrían organizar las operaciones de destococonado para cada una de las distintas periodicidades de las cortas que se puedan establecer.

c) Se mantiene el turno de 16 años y la periodicidad de las cortas en el monte cada 4 años pero, dado el alto coste de las operaciones de destococonado y plantación de nuevos individuos, se decide mantener cada nueva plantación durante cuatro ciclos de producción.

d) Se fija un turno de 15 años, una periodicidad de las cortas en el monte de 5 años, y se establece, como en el apartado anterior, que cada plantación dará lugar a cuatro ciclos de producción completos antes de destococonar.

SOLUCIÓN

1.

En primer lugar, necesitamos conocer el número de tronzones en los que se dividirá el monte en la ordenación, lo cual obtenemos como cociente entre el turno (T) y la periodicidad de las cortas (h):

$$\frac{T}{h} = \frac{16}{4} = 4 \text{ tronzones}$$

El método de división por cabida pretende que en el monte ordenado todos los tranzones proporcionen la misma producción. Por tanto, de cada uno de los cuatro tranzones deberá obtenerse una cuarta parte de la producción total del monte ordenado. El monte está formado por 85 ha de calidad I (cantones 1, 3 y 4), 145 ha de calidad II (cantones 2, 6, 7 y 8) y 32 ha de calidad III (cantón 5), por lo que la producción total del monte ordenado (todos los cantones cortados a la edad del turno) será de 69285 m^3 ($85 \text{ ha} \cdot 315,8 \text{ m}^3/\text{ha} + 145 \text{ ha} \cdot 250,4 \text{ m}^3/\text{ha} + 32 \text{ ha} \cdot 191,7 \text{ m}^3/\text{ha}$), con lo que cada uno de los cuatro tranzones debe producir unos 17321 m^3 . Teniendo en cuenta que el enunciado establece que para evitar la división de un mismo cantón en tranzones distintos se permite una desviación de $\pm 15\%$ sobre la equiproductividad o volumen teórico a extraer en cada tranzón, la producción a obtener en cada tranzón podrá oscilar entre 14723 m^3 ($17321 \text{ m}^3 \cdot 0,85$) y 19919 m^3 ($17321 \text{ m}^3 \cdot 1,15$).

Con estos valores ya podemos empezar a formar los tranzones, de manera que cada uno de ellos esté dentro del rango de producciones indicado. Como en el monte existen varias calidades de la estación, la cabida de cada uno de los tranzones será diferente dependiendo de qué calidades estén presentes en cada uno de ellos, necesitándose tranzones de mayor cabida en las zonas de peor calidad y de menor cabida en las de mejor calidad para poder obtener un rendimiento sostenido en las sucesivas cortas en los diferentes tranzones.

En este caso, al no constar que haya cantones con daños importantes en los que sea urgente la regeneración y puesta en producción del vuelo, el criterio de incorporación de cantones al tranzón será el del orden decreciente de edades, comenzando por los cantones cuyas masas presenten edades superiores al turno fijado, o en su defecto más próximas a él. Así, el orden de incorporación de cantones al primer y sucesivos tranzones será el siguiente, de mayor a menor prioridad: cantón 5, 6, 4, 3, 8, 1, 2 y 7. La edad de corta de las masas de cada cantón se calcula sumando a la edad actual que da el inventario el número de años que transcurren hasta que se realizan las cortas en el tranzón correspondiente. Los sacrificios de cortabilidad se indican como la diferencia (ya sea por defecto o por exceso) entre la edad de corta real de la masa y el turno fijado, diferencia que se puede producir en las cortas a realizar durante el periodo de transformación al monte ordenado.

Tranzón I. A cortar en el año actual (año 0). Formación definitiva							
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Cabida (ha)	Existencias a la edad del turno en monte ordenado (m³/ha)	Producción total del cantón (m³)	Producción total acumulada en el tranzón (m³)
5	III	17	+1	32	191,7	6134,4	6134,4
6	II	16	0	47	250,4	11768,8	17903,2

Donde se observa que formando el tranzón I con la incorporación de los cantones 5 y 6 tenemos ya una producción (17903 m³) dentro del rango calculado anteriormente (entre 14723 m³ y 19919 m³) y se evita dividir cantones en tranzones diferentes. No incorporamos más cantones a este tranzón, ya que incorporar entero el siguiente cantón en edad (cantón 4) haría aumentar la producción total del tranzón muy por encima del máximo permitido (19919 m³), y además tampoco interesa teniendo en cuenta que la masa en este cantón 4 tiene ahora sólo 12 años, y se cortará mucho más próximo al turno fijado de 16 años si se incorpora en el tranzón II en vez de en el actual tranzón I.

Hacemos una primera tentativa de formar el tranzón II incorporando los dos siguientes cantones según el orden decreciente de edades (cantones 4 y 3).

Tranzón II. A cortar en el año +4. Formación preliminar							
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Cabida (ha)	Existencias a la edad del turno en monte ordenado (m³/ha)	Producción total del cantón (m³)	Producción total acumulada en el tranzón (m³)
4	I	16	0	21	315,8	6631,8	6631,8
3	I	13	-3	52	315,8	16421,6	23053,4

Donde observamos que incluyendo sólo el cantón 4 nos quedamos muy por debajo de la producción mínima admitida para el tranzón (14723 m³), y que incluyendo enteros los cantones 4 y 3 nos quedamos claramente por encima del máximo permitido (19919 m³). En este caso, el margen del 15% no nos permite evitar la división de los cantones, por lo que parece más adecuado que el tranzón II lo formemos tomando sólo una parte del cantón 3 (y por tanto dividiendo éste entre los tranzones II y III). Una vez que hay que dividir el cantón 3, lo más correcto es hacerlo de manera

que el tranzón II proporcione exactamente la cuarta parte de la producción total del monte ordenado (17321 m³), sin que se deba acudir en este caso a las tolerancias o desviaciones sobre la equiproductividad. Para ello, como el cantón 4 aporta 6631,8 m³, nos faltan 10689 m³ para completar los 17321 m³ en el conjunto del tranzón, que equivalen a 33,85 ha de calidad I (al dividir los 10689 m³ por las existencias de 315,8 m³ a la edad del turno correspondientes a la calidad I a la que pertenece el cantón 3). Por tanto, tomamos estas 33,85 ha del cantón 3, quedando el tranzón II formado definitivamente como se indica a continuación.

Tranzón II. A cortar en el año +4. Formación definitiva							
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Cabida (ha)	Existencias a la edad del turno en monte ordenado (m³/ha)	Producción total del cantón (m³)	Producción total acumulada en el tranzón (m³)
4	I	16	0	21,00	315,8	6631,8	6631,8
3 (parte)	I	13	-3	33,85	315,8	10689,8	17321,6

El tranzón III contendrá en primer lugar las 18,15 ha del cantón 3 que no se incorporaron al tranzón II, seguido por el cantón 8 teniendo en cuenta el orden decreciente de edades, con lo que alcanzamos una producción total de 15247 m³ (18,15 ha · 315,8 m³/ha + 38 ha · 250,4 m³/ha), dentro del rango de producciones admitido. Si incorporamos el cantón 1 entero (siguiente en el orden decreciente de edades) también nos encontraríamos dentro de ese rango, en este caso por la parte alta, con una producción total de 19037 m³ (15247 m³ + 12 ha · 315,8 m³/ha). Como ambas soluciones (incorporar o no el cantón 1) cumplen con los requisitos de producción y de no dividir los cantones, debemos considerar criterios adicionales para decidirnos por una u otra. En este caso, se observa que el cantón 1, de incorporarse en el tranzón III, tendría un sacrificio de cortabilidad considerable al cortarse 3 años antes del turno de 16 años que se ha fijado, mientras que si se deja para incorporar en el siguiente tranzón (tranzón IV, que se cortará cuatro años más tarde), se cortaría a una edad mucho más próxima al turno (sólo un año por encima del mismo). Por ello, atendiendo a los sacrificios de cortabilidad parece más conveniente formar el tranzón III únicamente con el cantón 3 (parte) y 8 (entero), y dejar el cantón 1 para el tranzón IV.

Tranzón III. A cortar en el año +8. Formación provisional incorporado cantón 1							
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Cabida (ha)	Existencias a la edad del turno en monte ordenado (m ³ /ha)	Producción total del cantón (m ³)	Producción total acumulada en el tranzón (m ³)
3 (parte)	I	17	+1	18,15	315,8	5731,8	5731,8
8	II	15	-1	38	250,4	9515,2	15247,0
1	I	13	-3	12	315,8	3789,6	19036,6

Tranzón III. A cortar en el año +8. Formación definitiva sin incorporar cantón 1							
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Cabida (ha)	Existencias a la edad del turno en monte ordenado (m ³ /ha)	Producción total del cantón (m ³)	Producción total acumulada en el tranzón (m ³)
3 (parte)	I	17	+1	18,15	315,8	5731,8	5731,8
8	II	15	-1	38	250,4	9515,2	15247,0

El tranzón IV, último a formar en el monte, quedará formado por los cantones restantes (1, 2 y 7), resultando dentro de los rangos de producción establecidos anteriormente.

Tranzón IV. A cortar en el año +12. Formación definitiva							
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Cabida (ha)	Existencias a la edad del turno en monte ordenado (m ³ /ha)	Producción total del cantón (m ³)	Producción total acumulada en el tranzón (m ³)
1	I	17	+1	12	315,8	3789,6	3789,6
2	II	15	-1	29	250,4	7261,6	11051,2
7	II	14	-2	31	250,4	7762,4	18813,6

Como se puede comprobar, la suma de las producciones de los cuatro tranzones es igual a la producción total calculada en el monte ordenado durante un periodo igual a un turno (69285 m³), salvo pequeñas diferencias debidas a los redondeos en los cálculos anteriores.

La misma formación de tranzones que acabamos de obtener se puede realizar, con algún cálculo adicional respecto a la versión anterior basada directamente en las producciones de los tranzones, acudiendo a la calidad media del monte y a los factores de equivalencia de cada una de las tres calidades a esa calidad media.

En principio, a cada tranzón le correspondería una cabida de 65,5 ha (262 ha/4 tranzones) si todo el monte presentara una misma calidad de la estación, dado que en tal caso bastaría con que los tranzones se formaran con la misma superficie para que fueran equiproductivos en el monte ordenado. Como para evitar la división de un mismo cantón en tranzones distintos se permite una desviación de $\pm 15\%$ sobre la equiproductividad, la cabida del tranzón podría oscilar entre 55,7 ha (65,5 ha \cdot 0,85) y 75,3 ha (65,5 ha \cdot 1,15).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que estamos en un monte con diferentes calidades, por lo que para formar tranzones equiproductivos no bastará con que sean equisuperficiales, necesitándose tranzones de mayor cabida en las zonas de peor calidad y de menor cabida en las de mejor calidad para poder obtener un rendimiento sostenido en las sucesivas cortas en los diferentes tranzones. Por ello, los cuatro tranzones no deben tener la misma superficie real, sino la misma superficie equivalente en calidad media, y conforme a dicho criterio vamos a proceder ahora a formar los tranzones, debiéndose obtener los mismos resultados que en la versión anterior.

Para ello, calculamos la producción a la edad del turno en la calidad media del monte (P_{med}), teniendo en cuenta que está formado por 85 ha de calidad I (cantones 1, 3 y 4), 145 ha de calidad II (cantones 2, 6, 7 y 8) y 32 ha de calidad III (cantón 5) y conociendo las producciones en el monte ordenado para cada una de las calidades a esa edad del turno (16 años) que nos da el enunciado, tenemos:

$$P_{med} = (85 \text{ ha} \cdot 315,8 \text{ m}^3/\text{ha} + 145 \text{ ha} \cdot 250,4 \text{ m}^3/\text{ha} + 32 \text{ ha} \cdot 191,7 \text{ m}^3/\text{ha})/262 \text{ ha}$$

$$P_{med} = 264,5 \text{ m}^3/\text{ha}$$

De donde obtenemos los factores de equivalencia de la superficie de cada una de las calidades a la calidad media del monte:

$$1 \text{ ha de calidad I} = 315,8/264,5 = 1,194 \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de calidad II} = 250,4/264,5 = 0,947 \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de calidad III} = 191,7/264,5 = 0,725 \text{ ha de calidad media}$$

Con estos valores ya podemos empezar a formar los tranzones, de manera que cada uno de ellos esté dentro del rango de superficie equivalente a calidad media indicado (de 55,7 ha a 75,3 ha). Como ya se indicó anteriormente, el orden de incorporación de cantones al primer y sucesivos tranzones será el siguiente, de mayor a menor prioridad: cantón 5, 6, 4, 3, 8, 1, 2 y 7. Procedemos de manera análoga al caso anterior, ahora trabajando con la superficie equivalente en calidad media, que se calcula multiplicando la superficie real de cada cantón por el factor de equivalencia antes calculado, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla siguiente.

Tranzón I. A cortar en el año actual (año 0). Formación definitiva						
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tranzón (ha)
5	III	17	+1	32	23,2	23,2
6	II	16	0	47	44,5	67,7

Donde se observa que formando el tranzón I con la incorporación de los cantones 5 y 6 tenemos ya una superficie equivalente en calidad media (67,7 ha) dentro del rango calculado anteriormente (de 55,7 ha a 75,3 ha) y que evita dividir cantones en tranzones diferentes. No incorporamos más cantones a este tranzón, ya que incorporar entero el siguiente cantón (cantón 4) haría aumentar la superficie en calidad media acumulada muy por encima del máximo permitido (75,3 ha), y además tampoco interesa teniendo en cuenta que la masa en este cantón 4 tiene ahora sólo 12 años, y se cortará mucho más próximo al turno fijado de 16 años si se incorpora en el tranzón II en vez de en el actual tranzón I.

Hacemos una primera tentativa de formar el tranzón II incorporando los dos siguientes cantones según el orden decreciente de edades (cantones 4 y 3).

Tranzón II. A cortar en el año +4. Formación preliminar						
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tranzón (ha)
4	I	16	0	21	25,1	25,1
3	I	13	-3	52	62,1	87,2

Donde observamos que incluyendo sólo el cantón 4 nos quedamos muy por debajo de la superficie equivalente en calidad media admitida para el tranzón, y que incluyendo enteros los cantones 4 y 3 nos quedamos por encima. En este caso, el margen del 15% no nos permite evitar la división de los cantones, por lo que parece más adecuado, de acuerdo con las especificaciones del enunciado, que el tranzón II lo formemos tomando sólo una parte del cantón 3 (y por tanto dividiendo éste entre los tranzones II y III). Como decíamos anteriormente, una vez que hay que dividir el cantón 3, lo correcto es hacerlo de manera que el tranzón II tenga exactamente la cuarta parte de la superficie total equivalente en calidad media (65,5 ha), que es lo mismo que decir que de él se obtenga la cuarta parte de la producción total del monte, sin que se deba acudir en este caso a las tolerancias o desviaciones sobre la equiproductividad. Para ello, como el cantón 4 aporta 25,1 ha en calidad media, nos faltan 40,4 ha en calidad media para completar las 65,5 ha totales del tranzón, que equivalen a 33,8 ha de calidad I (al dividir las 40,4 ha por el factor de equivalencia de 1,194 de la calidad I a la que pertenece el cantón 3), que son las que tomaremos del cantón 3, quedando el tranzón II formado definitivamente como se indica a continuación.

Tranzón II. A cortar en el año +4. Formación definitiva						
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tranzón (ha)
4	I	16	0	21,0	25,1	25,1
3 (parte)	I	13	-3	33,8	40,4	65,5

El tranzón III contendrá en primer lugar las 18,2 ha del cantón 3 que no se incorporaron al tranzón II, seguido por el cantón 8 teniendo en cuenta el orden decreciente de edades, con lo que alcanzamos las 57,7 ha en calidad media (ver tablas siguientes), dentro del rango de superficies admitido para el tranzón. Si incorporamos el cantón 1 entero (siguiente en el orden decreciente de edades) también nos encontraríamos dentro de ese rango, en este caso por la parte alta (72,0 ha equivalentes en calidad media). Atendiendo a las mismas consideraciones sobre la minimización de los sacrificios de cortabilidad ya realizadas en el procedimiento de cálculo anterior, optamos por formar el tranzón III únicamente con el cantón 3 (parte) y 8 (entero), y dejar el cantón 1 para el tranzón IV.

Tranzón III. A cortar en el año +8. Formación provisional incorporando cantón 1						
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tranzón (ha)
3 (parte)	I	17	+1	18,2	21,7	21,7
8	II	15	-1	38	36,0	57,7
1	I	13	-3	12	14,3	72,0

Tranzón III. A cortar en el año +8. Formación definitiva sin incorporar cantón 1						
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tranzón (ha)
3 (parte)	I	17	+1	18,2	21,7	21,7
8	II	15	-1	38	36,0	57,7

El tranzón IV quedará formado por los cantones restantes (1, 2 y 7), resultando dentro del rango de superficie equivalente en calidad media fijado anteriormente.

Tranzón IV. A cortar en el año +12. Formación definitiva						
Cantón	Calidad	Edad corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tranzón (ha)
1	I	17	+1	12	14,3	14,3
2	II	15	-1	29	27,5	41,8
7	II	14	-2	31	29,4	71,2

Se puede observar, a modo de comprobación de los cálculos, que obviamente la suma de la superficie equivalente en calidad media de cada uno de los cuatro tranzones (71,2 ha + 57,7 ha + 65,5 ha + 67,7 ha) es igual a la superficie total del monte (262 ha), salvo diferencias mínimas debidas a los redondeos en los cálculos anteriores. Por otro lado, se comprueba que la composición de los tranzones es la misma

tanto si se forman mediante los factores de equivalencia a calidad media o trabajando directamente con las producciones, como no podía ser de otra manera.

Tras esas primeras cortas en el tronzón IV, se habrá completado el periodo de transformación, y el monte quedará ya ordenado según el método de división por cabida. En el año +16 se volvería a cortar en el tronzón I (primera corta del monte ordenado, ya sin sacrificios de cortabilidad, salvo imprevistos), en el año + 20 en el tronzón II, en el año +24 el tronzón III, en el año + 28 tronzón IV, en el año +32 nuevamente el tronzón I, y así sucesivamente según lo previsto en el método de división por cabida.

Se puede observar que en el tronzón en el que se dan menos sacrificios de cortabilidad es el tronzón I, en el que sólo uno de los dos cantones presenta una edad de corta ligeramente distinta a la fijada en el turno (un año por encima del turno).

2. a)

La posibilidad en el tronzón II en el periodo de transformación (P_{II}), correspondiente a la primera corta a hecho en ese tronzón, se calcula como el volumen de madera procedente de los dos cantones que lo forman, resultado de sumar las existencias en el año actual que da el inventario y el crecimiento en volumen correspondiente a los cuatro periodos de crecimiento transcurridos entre la fecha del inventario (tras el verano del año actual) y el momento de la corta en el tronzón II (al final del año +4) para cada uno de los cantones, suponiendo válidos durante ese tiempo los crecimientos corrientes actuales obtenidos en el inventario:

$$P_{II} = 21,0 \text{ ha} \cdot (183,4 \text{ m}^3/\text{ha} + 4 \text{ años} \cdot 22,1 \text{ m}^3/\text{ha-año}) + 33,8 \text{ ha} \cdot (93,3 \text{ m}^3/\text{ha} + 4 \cdot 18,7 \text{ m}^3/\text{ha-año})$$

$$P_{II} = 11390 \text{ m}^3$$

Esta posibilidad se obtiene en una superficie real de 54,8 ha, lo que equivale a una producción de 207,8 m³/ha, y considerando un turno de 16 años, a una producción de 13,0 m³/ha-año.

2. b)

Cuando el monte esté ya ordenado según el método de división por cabida, las nuevas masas se ajustarán en todos los cantones al marco de plantación y tipo de gestión correspondiente al modelo de la tabla de producción y se cortarán a la edad del turno fijado, con lo que se estima que la producción será la de las existencias a la edad del turno según esa tabla de producción. En el caso del tronzón II, que está compuesto únicamente por cantones de la calidad I, la posibilidad será de 315,8 m³/ha, lo que, teniendo en cuenta la superficie real del tronzón (54,8 ha) y los 16 años del turno, equivale a una posibilidad de 17306 m³ y de 19,7 m³/ha-año.

Puede observarse que la posibilidad se prevé considerablemente mayor en el monte ordenado que en el periodo de transformación ($19,7 \text{ m}^3/\text{ha-año}$ frente a $13,0 \text{ m}^3/\text{ha-año}$), lo cual puede ser debido a dos motivos principales. Por un lado, en el monte ordenado todos los cantones se cortan a la edad del turno (16 años), mientras que en el periodo de transformación el cantón 3 (que representa la mayor parte de la superficie total del tranzón II) se corta 3 años antes del turno, lo que hace que el volumen obtenido de este cantón 3 sea notablemente menor en el periodo de transformación que en el monte ordenado. Por otro lado, el marco de plantación y gestión aplicada en la plantación establecida tras la primera corta a hecho en el tranzón II (que es la que dará lugar a la masa a aprovechar en el monte ya ordenado) puede diferir de la existente en ese cantón con anterioridad y ser más adecuada para los fines de máxima producción establecidos en la ordenación, produciéndose un incremento en el rendimiento de la explotación tras el inicio de la ordenación. Nótese que por ejemplo para el cantón 4 se prevé (aplicando el crecimiento corriente actual durante cuatro años) una producción a la edad del turno de $271,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ ($183,4 \text{ m}^3/\text{ha} + 4 \text{ años} \cdot 22,1 \text{ m}^3/\text{ha-año}$), mientras que según la tabla de producción se prevé una producción mayor ($315,8 \text{ m}^3/\text{ha}$).

2. c)

En el periodo de transformación, del total de 11390 m^3 a extraer, 5708 m^3 corresponden al cantón 4 ($21,0 \text{ ha} \cdot (183,4 \text{ m}^3/\text{ha} + 4 \text{ años} \cdot 22,1 \text{ m}^3/\text{ha-año})$) y 5682 m^3 al cantón 3 ($33,8 \text{ ha} \cdot (93,3 \text{ m}^3/\text{ha} + 4 \text{ años} \cdot 18,7 \text{ m}^3/\text{ha-año})$). Es decir, prácticamente un 50% de la posibilidad total procede del cantón 4 y el otro 50% procede del cantón 3.

Una vez el monte esté ordenado conforme a lo previsto en el método de división por cabida, la aportación porcentual de los dos cantones será simplemente proporcional a su superficie, ya que ambos se cortarán a la edad del turno y los dos presentan la misma calidad I, por lo que el cantón 4 aportará el 38% de la posibilidad (al reunir 21 hectáreas de las 54,8 totales), por debajo del 50% del periodo de transformación, mientras que el cantón 3 aportará el restante 62% (al estar 33,8 hectáreas de este cantón incluidas en el tranzón II, sobre el total de 54,8), por encima de lo que representaba en el periodo de transformación.

Las razones de estas diferencias son similares a las indicadas en el apartado anterior. En el periodo de transformación el cantón 4 se corta a la edad del turno, mientras que el cantón 3 se corta tres años antes del mismo, por lo que este último cantón presenta unas existencias inferiores a las que habría alcanzado de no cometerse sacrificios de cortabilidad para llevar al monte a la estructura normal propia del método de división por cabida. Sin embargo, en el monte ordenado ambos cantones se cortan a la edad del turno, y por tanto el cantón 3 aportará mucho más volumen respecto a lo que ocurría en el periodo de transformación.

3.

En cada punto del monte se debe realizar el destococonado cada 48 años (16 años de turno \cdot 3 ciclos de producción de cada plantación). Lógicamente las operaciones de destococonado deben suceder a las de corta en aquellas zonas donde corresponda la renovación de las cepas, y suponemos que las cortas, el destococonado y la plantación de nuevos individuos se realizan en el mismo año. Existen diversas opciones de organización de las operaciones de destococonado, dependiendo del número de años que transcurran entre una intervención de destococonado y la siguiente. De manera preliminar, y sin tener en cuenta otras consideraciones más detalladas y características concretas de la ordenación que nos ocupa y que se tratarán más adelante, podríamos contemplar las siguientes posibilidades. En el caso extremo, podríamos simplemente realizar el destococonado en todo el monte simultáneamente, interviniendo cada 48 años en todo él (262 ha). Sin embargo, esta es una superficie a todas luces excesiva, y muy alejada de los criterios de distribución gradual de las intervenciones a lo largo del tiempo de una manera sostenida propios del método de división por cabida, por lo que descartamos este caso en todas las consideraciones que vamos a realizar en adelante. Por tanto, corresponde formar una serie de unidades de destococonado en el monte (análogos conceptualmente a los tranzones de cortas a hecho), cuyo número será igual al cociente entre los 48 años de duración establecida para los individuos plantados y el número de años transcurrido entre dos intervenciones de destococonado sucesivas (d), por lo que d deberá ser divisor de esos 48 años. En un caso más general, el número de unidades de destococonado será igual al cociente entre $n \cdot T$ y d (donde T es el turno y n el número de ciclos de producción de una misma plantación, que será $n > 1$ para estos eucaliptares), por lo que d deberá ser divisor de $n \cdot T$. Así, teniendo en cuenta por el momento sólo esta condición, las operaciones de destococonado podrían en principio hacerse cada 24 años (en cuyo caso tendríamos dos unidades de destococonado, cada una de ellas con una cabida de 131 ha), cada 16 años (tres unidades de destococonado de 87,3 ha cada una), cada 12 años (cuatro unidades de destococonado de 65,5 ha cada una), cada 8 años (seis unidades de destococonado de 43,7 ha cada una), cada 6 años (ocho unidades de destococonado de 32,75 ha cada una), cada 4 años (doce unidades de destococonado de 21,8 ha cada una), cada 3 años (dieciséis unidades de destococonado de 16,4 ha cada una), cada 2 años (veinticuatro unidades de destococonado de 10,9 ha cada una), o con frecuencia anual (cuarenta y ocho unidades de destococonado de unas 5,5 ha cada una).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, obviamente, nunca podremos destococonar una superficie mayor que la que se haya cortado en un año determinado, o lo que es lo mismo, el número de unidades de destococonado deberá ser siempre mayor o igual que el de tranzones de corta. Dado que el número de unidades de destococonado es igual a $n \cdot T/d = 48/d$ (siendo d la periodicidad entre las operaciones de destococonado) y el número de tranzones es igual a $T/h = 16/h$ (siendo h la periodicidad de las cortas en el monte), tenemos entonces que se debe cumplir que $d \leq 3h$ (en el caso de tres

ciclos de producción tras una plantación), o de modo más general $d \leq n \cdot h$ (para el caso de n ciclos de producción). Además, dado que sólo se realizan cortas a hecho cada h años, las operaciones de destococonado podrán como mucho llevarse a cabo con una frecuencia igual a esos h años ($d \geq h$). En resumen, tenemos que $h \leq d \leq 3h$ (o en el caso más general $h \leq d \leq n \cdot h$).

Por otro lado, puesto que las operaciones de destococonado tienen que ir acopladas con las de corta (sólo puede destococonarse allí donde se haya cortado en un año determinado), h debe ser un divisor de d , y dada la condición de que $h \leq d \leq 3h$, (o $h \leq d \leq n \cdot h$ en el caso más general) en la práctica el resultado de dividir d entre h sólo podrá ser en este caso 1, 2 o 3 (o en el caso más general un número entero de 1 a n).

Además, dada la periodicidad y uniformidad con la que se desean organizar las operaciones de destococonado (propia del método de división por cabida), debe cumplirse también que el número de unidades de destococonado sea divisible por el número de tronzos de corta. De otro modo, no podría intervenir siempre sobre la misma extensión dentro de cada tronzón en las sucesivas intervenciones, obligando a que las operaciones de destococonado se hicieran sobre superficies diferentes en al menos algunas de las intervenciones.

Por último, hay que tener en cuenta que, aun cumpliendo todas las condiciones anteriores, la secuencia de operaciones de destococonado debe recorrer todos los tronzos del monte, y por tanto se deben evitar secuencias cíclicas de destococonado que afecten sólo a una parte de los tronzos. Ello equivale a imponer la condición de que d y T no deben tener ningún divisor común que sea mayor que h , dado que si existe tal divisor común mayor que h (llamaremos c al mayor de los divisores comunes que existan y que sea mayor que h) las operaciones de destococonado completarán una secuencia en un periodo igual a $d \cdot T/c$ años interviniendo sólo sobre algunos de los tronzos, para volver a iniciar la misma secuencia sobre los mismos tronzos de manera cíclica e indefinida sin actuar nunca sobre los restantes. Obviamente el cociente $d \cdot T/c$ proporcionará un número de años entero por ser c divisor común de d y T . Por ejemplo, si $T=16$ años, $h=4$ (tenemos entonces cuatro tronzos de corta) y $d=8$, tenemos que $c=8$ es mayor que h y es un divisor común tanto de T como de d . En tal caso nunca se destococonaría en los tronzos II y IV, siendo la secuencia de operaciones la siguiente: año 0 corta en el tronzón I y destococonado en al menos una parte del tronzón I (dependiendo del valor de n se destococonaría mayor o menor proporción del tronzón), año +4 corta en el tronzón II, año +8 corta en el tronzón III y destococonado en al menos una parte del tronzón III (igualmente dependiendo de n), año +12 corta en el tronzón IV, año +16 corta en el tronzón I y destococonado en al menos una parte del tronzón I, año +20 corta en el tronzón II, año +24 corta en el tronzón III y destococonado en al menos una parte del tronzón III, año +28 corta en el tronzón IV, año +32 corta en el tronzón I y destococonado en al menos una parte del tronzón I, y así sucesivamente de manera indefinida. Del mismo modo, si $T=16$, $h=4$

(tenemos igualmente cuatro tranzones de corta) y $d=24$, entonces $c=8$ es nuevamente mayor que h y divisor común de T y d , en cuyo caso tampoco se destococonaría nunca en los tranzones II y IV, siendo la secuencia de operaciones la siguiente: año 0 corta en el tranzón I y destococonado en al menos parte del tranzón I (dependiendo del valor de n se destococonaría mayor o menor proporción de cada tranzón), año +4 corta en el tranzón II, año +8 corta en el tranzón III, año +12 corta en el tranzón IV, año +16 corta en el tranzón I, año +20 corta en el tranzón II, año +24 corta en el tranzón III y destococonado en al menos parte del tranzón III, año +28 corta en el tranzón IV, para volver a cortar el tranzón I y destococonar en al menos parte de ese mismo tranzón I en el año +48 y proseguir así sucesivamente de manera indefinida con el mismo ciclo. Dentro de esta condición quedan también contemplados, como un caso particular, los casos en los que $d=T$ (o de modo más general, los casos en los que d es un múltiplo de T), en los que el propio d es un divisor común de d y de T ($c=d$), y además mayor que h (dado que h debe ser menor que T para que se formen varios tranzones en el monte). En estos casos evidentemente no es posible realizar convenientemente el destococonado, dado que de destococonarse sólo cada T años (o un múltiplo de T) estaríamos actuando siempre sobre el mismo tranzón, sin que las operaciones de destococonado afectaran en ningún momento al resto de los tranzones del monte.

Recopilamos entonces las cinco condiciones que deben cumplirse (en el caso más general) para definir la organización en el espacio y el tiempo de las operaciones de destococonado de acuerdo con lo establecido en el método adoptado:

- Condición 1: d debe ser un divisor de $n \cdot T$.
- Condición 2: $h \leq d \leq n \cdot h$.
- Condición 3: h debe ser un divisor de d .
- Condición 4: el número de unidades de destococonado debe ser divisible por el número de tranzones de corta.
- Condición 5: d y T no deben tener ningún divisor común que sea mayor que h .

Nótese que la opción $d=h$ es siempre posible en cualquier caso (cumple cada una de las cinco condiciones indicadas anteriormente, dado que obviamente h tiene que ser un divisor de T) y, dependiendo de los casos, habrá otras alternativas además de ésta para organizar las operaciones de destococonado en el monte.

Con todo ello podemos ya responder a las diferentes preguntas que se nos plantean en el enunciado:

3. a)

En este caso el turno es de 16 años, la periodicidad de las cortas a hecho en el monte es de $h=4$ años (y por tanto se forman 4 tranzones), y se aprovechan tres ciclos de producción de una misma plantación. Como decíamos, d debe ser un divisor de los 48 años de duración establecida para los individuos plantados (3 ciclos de producción con un turno de 16 años), $h \leq d \leq 3h$ y h debe ser un divisor de d , con lo que tras estas condiciones nos quedan sólo las opciones de que d sea igual a h (4 años), a $2h$ (8 años) o a $3h$ (12 años), lo que da lugar respectivamente a 12 ($48/4$), 6 ($48/8$) o 4 ($48/12$) unidades de destocoñado. De estas tres posibilidades, se descarta el caso de 6 unidades de destocoñado por no ser divisible entre el número de tranzones (4), quedándonos entonces finalmente sólo dos opciones (las dos cumplen con la quinta condición establecida anteriormente): formar 12 unidades de destocoñado ($d=4$), cada una de ellas de 21,8 ha, o formar 4 unidades de destocoñado ($d=12$), cada una de ellas de 65,5 ha. En el primero de los casos, cada uno de los tranzones de corta queda subdividido en tres subtranzones o unidades de destocoñado, que denotamos con letras siguiendo al número del tranzón al que pertenecen (unidad Ia, Ib, Ic, IIa, IIb, IIc, IIIa, IIIb, IIIc, IVa, IVb, IVc). En el segundo caso las unidades de destocoñado coinciden en número y extensión con la de los propios tranzones de corta. Veamos cómo quedaría la secuencia de operaciones en cada uno de estos dos casos durante un ciclo completo de 48 años (a partir de entonces se repetiría cíclicamente la misma secuencia de operaciones).

12 unidades de destocoñado ($d=4$) de 21,8 ha cada una	
Año	Actuaciones
0 (actual)	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destocoñado en la unidad Ia
+4	Cortas a hecho en todo el tranzón II y destocoñado en la unidad IIa
+8	Cortas a hecho en todo el tranzón III y destocoñado en la unidad IIIa
+12	Cortas a hecho en todo el tranzón IV y destocoñado en la unidad IVa
+16	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destocoñado en la unidad Ib
+20	Cortas a hecho en todo el tranzón II y destocoñado en la unidad IIb
+24	Cortas a hecho en todo el tranzón III y destocoñado en la unidad IIIb
+28	Cortas a hecho en todo el tranzón IV y destocoñado en la unidad IVb
+32	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destocoñado en la unidad Ic
+36	Cortas a hecho en todo el tranzón II y destocoñado en la unidad IIc
+40	Cortas a hecho en todo el tranzón III y destocoñado en la unidad IIIc

+44	Cortas a hecho en todo el tronzón IV y destocoñado en la unidad IVc
+48 (igual que en año 0)	De nuevo cortas a hecho en todo el tronzón I y destocoñado en la unidad Ia (igual que en año 0)

4 unidades de destocoñado ($d=12$) de 65,5 ha cada una	
Año	Actuaciones
0 (actual)	Cortas a hecho y destocoñado en todo el tronzón I
+4	Cortas a hecho en todo el tronzón II
+8	Cortas a hecho en todo el tronzón III
+12	Cortas a hecho y destocoñado en todo el tronzón IV
+16	Cortas a hecho en todo el tronzón I
+20	Cortas a hecho en todo el tronzón II
+24	Cortas a hecho y destocoñado en todo el tronzón III
+28	Cortas a hecho en todo el tronzón IV
+32	Cortas a hecho en todo el tronzón I
+36	Cortas a hecho y destocoñado en todo el tronzón II
+40	Cortas a hecho en todo el tronzón III
+44	Cortas a hecho en todo el tronzón IV
+48 (igual que en año 0)	Cortas a hecho y destocoñado en todo el tronzón I (igual que en año 0)

Por un lado podría considerarse preferible la opción de 12 unidades de destocoñado ($d=4$), teniendo en cuenta que los diferentes ciclos de producción suelen tener producciones distintas (normalmente para esta especie la producción tras el primer rebrote es superior a la del primer ciclo tras la plantación, decreciendo después para sucesivos rebrotos). Por ello, si todos los tronzones tienen la misma proporción de masas en cada uno de los ciclos de producción (un tercio de cada uno de los tres ciclos en este caso si fijamos $d=4$), su producción será similar a lo largo del tiempo y entre los distintos tronzones y se garantizará así de una manera más estricta el rendimiento sostenido (en relación con los volúmenes procedentes de las cortas en los diferentes tronzones) propia del método de división por cabida. Si se fija $d=12$, entonces en un mismo momento coexistirán tronzones con todas sus masas correspondientes a cada uno de los diferentes ciclos de producción, que darán lugar a diferentes volúmenes a la hora de las cortas en función de las diferencias de producción de cada uno de los

ciclos a la edad del turno. Por otro lado, la opción $d=4$ también distribuye más gradualmente las superficies y los gastos de las operaciones de destocoñado a lo largo del tiempo. Sin embargo, podemos decantarnos por la segunda opción ($d=12$) con el fin de ahorrar en los costes fijos asociados a la organización y puesta en marcha de las operaciones de destocoñado y para rentabilizar la actuación al abarcar superficies más grandes en un mismo año.

3. b)

En este caso mantenemos el turno en 16 años, pero podemos hacer cortas en el monte cada año ($h=1$, 16 tranzones), cada dos años ($h=2$, 8 tranzones), cada 4 años ($h=4$, 4 tranzones), o cada 8 años ($h=8$, 2 tranzones). La opción $h=4$ ya ha sido considerada en el apartado anterior, con lo que nos restan por estudiar las opciones $h=1$, 2 y 8.

Si hacemos cortas anuales ($h=1$, 16 tranzones), y aplicando las condiciones de que d debe ser un divisor de los 48 años de duración establecida para los individuos plantados (3 ciclos de producción con un turno de 16 años), de que $h \leq d \leq 3h$ y que h debe ser un divisor de d , las únicas opciones que quedan serían $d=1$ o $d=3$, que dan lugar respectivamente a 48 y 16 unidades de destocoñado y que cumplen también con la cuarta y quinta condiciones establecidas anteriormente, resultando las siguientes secuencias de operaciones en un ciclo de 48 años:

16 tranzones con cortas anuales ($h=1$) de 16,38 ha cada uno y 48 unidades de destocoñado ($d=1$) de 5,46 ha cada una. Cada tronzón de corta dividido en tres subtranzones o unidades de destocoñado (Ia, Ib, Ic, IIa, IIb, IIc,....., XVIa, XVIIb, XVIIc). Por brevedad se incluyen sólo las operaciones de parte de los años del ciclo completo de 48 años.	
Año	Actuaciones
0 (actual)	Cortas a hecho en todo el tronzón I y destocoñado en la unidad Ia
+1	Cortas a hecho en todo el tronzón II y destocoñado en la unidad IIa
+2	Cortas a hecho en todo el tronzón III y destocoñado en la unidad IIIa
+3	Cortas a hecho en todo el tronzón IV y destocoñado en la unidad IVa
+4	Cortas a hecho en todo el tronzón V y destocoñado en la unidad Va
+5	Cortas a hecho en todo el tronzón VI y destocoñado en la unidad VIa
+6	Cortas a hecho en todo el tronzón VII y destocoñado en la unidad VIIa
+7	Cortas a hecho en todo el tronzón VIII y destocoñado en la unidad VIIIa
+8	Cortas a hecho en todo el tronzón IX y destocoñado en la unidad IXa
+9	Cortas a hecho en todo el tronzón X y destocoñado en la unidad Xa

+10	Cortas a hecho en todo el tranzón XI y destococonado en la unidad XIa
+11	Cortas a hecho en todo el tranzón XII y destococonado en la unidad XIIa
+12	Cortas a hecho en todo el tranzón XIII y destococonado en la unidad XIIIa
+13	Cortas a hecho en todo el tranzón XIV y destococonado en la unidad XIVa
+14	Cortas a hecho en todo el tranzón XV y destococonado en la unidad XVa
+15	Cortas a hecho en todo el tranzón XVI y destococonado en la unidad XVIa
+16	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destococonado en la unidad Ib
+17	Cortas a hecho en todo el tranzón II y destococonado en la unidad IIb
.....
+40	Cortas a hecho en todo el tranzón IX y destococonado en la unidad IXc
+41	Cortas a hecho en todo el tranzón X y destococonado en la unidad Xc
+42	Cortas a hecho en todo el tranzón XI y destococonado en la unidad XIc
+43	Cortas a hecho en todo el tranzón XII y destococonado en la unidad XIIc
+44	Cortas a hecho en todo el tranzón XIII y destococonado en la unidad XIIIc
+45	Cortas a hecho en todo el tranzón XIV y destococonado en la unidad XIVc
+46	Cortas a hecho en todo el tranzón XV y destococonado en la unidad XVc
+47	Cortas a hecho en todo el tranzón XVI y destococonado en la unidad XVIc
+48 (igual que en año 0)	De nuevo cortas a hecho en todo el tranzón I y destococonado en la unidad Ia (igual que en año 0)

16 tranzones con cortas anuales ($h=1$) de 16,38 ha cada uno y 16 unidades de destococonado ($d=3$) de 16,38 ha cada una. Por brevedad se incluyen sólo las operaciones de parte de los años del ciclo completo de 48 años.

Año	Actuaciones
0 (actual)	Cortas a hecho y destococonado en todo el tranzón I
+1	Cortas a hecho en todo el tranzón II
+2	Cortas a hecho en todo el tranzón III
+3	Cortas a hecho y destococonado en todo el tranzón IV
+4	Cortas a hecho en todo el tranzón V
+5	Cortas a hecho en todo el tranzón VI
+6	Cortas a hecho y destococonado en todo el tranzón VII

+7	Cortas a hecho en todo el tranzón VIII
+8	Cortas a hecho en todo el tranzón IX
+9	Cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón X
+10	Cortas a hecho en todo el tranzón XI
+11	Cortas a hecho en todo el tranzón XII
+12	Cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón XIII
+13	Cortas a hecho en todo el tranzón XIV
+14	Cortas a hecho en todo el tranzón XV
+15	Cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón XVI
+16	Cortas a hecho en todo el tranzón I
+17	Cortas a hecho en todo el tranzón II
+18	Cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón III
+19	Cortas a hecho en todo el tranzón IV
.....
+40	Cortas a hecho en todo el tranzón IX
+41	Cortas a hecho en todo el tranzón X
+42	Cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón XI
+43	Cortas a hecho en todo el tranzón XII
+44	Cortas a hecho en todo el tranzón XIII
+45	Cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón XIV
+46	Cortas a hecho en todo el tranzón XV
+47	Cortas a hecho en todo el tranzón XVI
+48 (igual que en año 0)	De nuevo cortas a hecho y destoconado en todo el tranzón I (igual que en año 0)

Si hacemos cortas cada dos años ($h=2$, 8 tranzones), y aplicando las condiciones de que d debe ser un divisor de los 48 años de duración establecida para los individuos plantados (3 ciclos de producción con un turno de 16 años), de que $h \leq d \leq 3h$ y de que h debe ser un divisor de d , las opciones posibles serían $d=2, 4$ y 6 , que dan lugar a 24, 12 y 8 unidades de destoconado respectivamente. De estas sólo los casos de 24 y 8 unidades de destoconado ($d=2$ y $d=6$ respectivamente) son adecuadas por ser divisibles por el número de tranzones (condición 4), y en ambos casos d y T no pre-

sentan ningún divisor común mayor que h , por lo que ambas son válidas para organizar las operaciones de destocoñado. No detallamos las secuencias de operaciones resultantes por ser análogas a las ya descritas para los casos anteriores.

Si hacemos cortas cada 8 años ($h=8$, 2 tranzones), y aplicando las condiciones de que d debe ser un divisor de los 48 años de duración establecida para los individuos plantados (3 ciclos de producción con un turno de 16 años), de que $h \leq d \leq 3h$ y de que h debe ser un divisor de d , nos quedan las opciones $d=8$, 16, y 24, todas ellas divisibles por el número de tranzones. Sin embargo de estas tres hay que descartar la opción $d=16$, ya que en tal caso existe un divisor (c) común a d y T mayor que h ($c=d=T=16$), y no se intervendría nunca sobre uno de los dos tranzones, con lo que sólo nos quedan como válidas las opciones $d=8$ y $d=24$. No detallamos las secuencias de operaciones resultantes por ser análogas a las ya descritas para los casos anteriores.

Para decantarse por unas u otras opciones (d) en cada uno de los casos (h) se tendrían en cuenta las mismas consideraciones que en el apartado anterior (diferencia entre la producción de los diferentes ciclos, gastos fijos y variables de las operaciones de destocoñado y superficies mínimas y máximas de las actuaciones, etc.).

3. c)

Al igual que en el apartado 3a se fijan $T=16$ y $h=4$ (4 tranzones de corta), pero ahora tenemos cuatro ciclos de producción ($n=4$) para los mismos individuos plantados. Aplicando las condiciones de que d debe ser un divisor de los 64 años de duración establecida para los individuos plantados (4 ciclos de producción con un turno de 16 años), de que $h \leq d \leq 3h$ y que h debe ser un divisor de d , las únicas opciones que quedan serían $d=4$, $d=8$ o $d=16$, que dan lugar respectivamente a 16, 8 y 4 unidades de destocoñado. Las tres opciones cumplen la condición cuarta establecida anteriormente, al ser el número de unidades de destocoñado divisible por el número de tranzones de corta (4). Sin embargo, cuando $d=8$ y $d=16$ no se cumple la quinta condición, por tener en ambos casos d y T un divisor común mayor que h ($c=8$ y $c=16$ respectivamente), y en tal caso las operaciones de destocoñado afectarían sólo a uno ($d=16$) o dos ($d=8$) de los cuatro tranzones de corta formados en el monte, quedando sin renovar las cepas del resto del monte para estas secuencias de operaciones. Por tanto, la única opción posible es en este caso tomar $d=h=4$ años. No detallamos la secuencia de operaciones resultante por ser análoga a la ya descrita en el apartado 3a para el caso $d=h$, con la diferencia de que ahora cada uno de los tranzones de corta queda subdividido en cuatros subtranzones o unidades de destocoñado (de 16,38 ha cada una) y que el ciclo de destocoñado se repite cada 64 años en vez de cada 48 años como en el apartado 3a.

3. d)

En este caso, si aplicamos las condiciones de que d debe ser un divisor de los 60 años de duración establecida para los individuos plantados (4 ciclos de producción con un turno de 15 años), de que $h \leq d \leq n \cdot h$ (donde $n=4$ y $h=5$) y de que h debe ser un divisor de d , tenemos que los únicos valores de d posibles serían $d=5$, $d=10$, $d=15$, y $d=20$, de donde resultarían respectivamente 12, 6, 4 y 3 unidades de destocoñado. Aplicando además la condición de que el número de unidades de destocoñado debe ser divisible por el número de tranzones de corta, que es igual a tres ($T/h=15/5=3$, cada uno con una superficie de 87,3 ha), tenemos que sólo nos queda la posibilidad de formar 12 ($d=5$), 6 ($d=10$) y 3 ($d=20$) unidades de destocoñado (en los tres casos d y T no tienen ningún divisor común mayor que h , con lo que cumplen también la quinta condición). Incluimos a continuación la secuencia de operaciones resultantes en un ciclo de 60 años sólo para las opciones $d=10$ y $d=20$, elaborándose la secuencia para $d=5$ de manera análoga a éstas y a las detalladas en apartados anteriores. En el primer caso ($d=10$) cada uno de los tranzones de corta queda subdividido en dos subtrazones o unidades de destocoñado, que identificamos con letras siguiendo al número del tranzón al que pertenecen (unidad Ia, Ib, IIa, IIb, IIIa, IIIb).

6 unidades de destocoñado ($d=10$) de 43,7 ha cada una	
Año	Actuaciones
0 (actual)	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destocoñado en la unidad Ia
+5	Cortas a hecho en todo el tranzón II
+10	Cortas a hecho en todo el tranzón III y destocoñado en la unidad IIIa
+15	Cortas a hecho en todo el tranzón I
+20	Cortas a hecho en todo el tranzón II y destocoñado en la unidad IIa
+25	Cortas a hecho en todo el tranzón III
+30	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destocoñado en la unidad Ib
+35	Cortas a hecho en todo el tranzón II
+40	Cortas a hecho en todo el tranzón III y destocoñado en la unidad IIIb
+45	Cortas a hecho en todo el tranzón I
+50	Cortas a hecho en todo el tranzón II y destocoñado en la unidad IIb
+55	Cortas a hecho en todo el tranzón III
+60 (igual que en año 0)	Cortas a hecho en todo el tranzón I y destocoñado en la unidad Ia (igual que en año 0)

En el caso $d=20$ tenemos tres unidades de destocoñado de igual cabida que los tranzones (87,3 ha), sobre las que se va actuando como se indica en la tabla siguiente:

3 unidades de destocoñado ($d=20$) de 87,3 ha cada una	
Año	Actuaciones
0 (actual)	Cortas a hecho y destocoñado en el tranzón I
+5	Cortas a hecho en el tranzón II
+10	Cortas a hecho en el tranzón III
+15	Cortas a hecho en el tranzón I
+20	Cortas a hecho y destocoñado en el tranzón II
+25	Cortas a hecho en el tranzón III
+30	Cortas a hecho en el tranzón I
+35	Cortas a hecho en el tranzón II
+40	Cortas a hecho y destocoñado en el tranzón III
+45	Cortas a hecho en el tranzón I
+50	Cortas a hecho en el tranzón II
+55	Cortas a hecho en el tranzón III
+60 (igual que en año 0)	Cortas a hecho y destocoñado en el tranzón I (igual que en año 0)

EJERCICIO 2. Unas choperas de *Populus x euramericana* situadas en los valles de los ríos Cárdenas y Najerilla (La Rioja) y correspondientes a una agrupación de propietarios presentan una superficie total de 114 hectáreas y una calidad de la estación homogénea, y se pretenden ordenar conjuntamente mediante el método de división por cabida, estableciéndose un turno de 12 años. Se desea decidir la periodicidad de las cortas (h) para maximizar el rendimiento financiero en una rotación, eligiendo entre tres opciones posibles: cortas cada dos, tres o cuatro años ($h=2, 3$ ó 4). Se sabe que las existencias maderables a la edad del turno son de unos $130 \text{ m}^3/\text{ha}$, que el precio que se paga por la madera en pie es de unos 55 €/m^3 , y que las operaciones asociadas a la corta, destocoado y nueva plantación suponen para la propiedad unos gastos fijos de 4000 € (independientemente de la superficie cortada) y unos gastos variables de 2000 €/ha . Tomar una tasa de descuento anual del 2% . Suponer que las primeras cortas se realizan dentro de h años y que las últimas se realizan dentro de 12 años (últimas cortas de la rotación objeto de cálculo), incluyendo también en los gastos de las últimas cortas el conjunto de las operaciones de corta, destocoado y nueva plantación. Suponer que la estructura del monte se ajusta ya desde el inicio a la normal propia del método de división por cabida para cada una de las periodicidades de las cortas correspondientes.

SOLUCIÓN

Dado que suponemos que la estructura del monte ya se ajusta a la del monte normal según el método de división por cabida, todas las cortas que se hagan en las masas serán a la edad del turno (12 años), independientemente de la periodicidad de las cortas (h).

Dependiendo del valor de h las cortas serán más o menos frecuentes y afectarán a una menor o mayor superficie en cada intervención, pero obviamente al finalizar la rotación (12 años) todas las zonas del monte habrán sido cortadas una vez.

En el caso de cortas cada dos años ($h=2$), como el turno (T) es de 12 años, tendremos seis tranzones ($T/h=12/2=6$) y cada vez que hagamos las cortas, éstas afectarán a la sexta parte de la superficie total del monte, es decir a 19 ha. Por tanto, la corta de un tranzón supondrá unos ingresos de 135850 € ($130 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 55 \text{ €/m}^3 \cdot 19 \text{ ha}$) y unos gastos de 42000 € ($4000 \text{ €} + 2000 \text{ €/ha} \cdot 19 \text{ ha}$), lo que resulta en unos beneficios netos de 93850 € en cada intervención.

En el caso de cortas cada tres años ($h=3$), tendremos cuatro tranzones ($T/h=12/3=4$) y cada vez que intervengamos en la masa cortaremos la cuarta parte de la superficie total del monte, es decir 28,5 ha. Por tanto, la corta de un tranzón supondrá unos ingresos de 203775 € ($130 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 55 \text{ €/m}^3 \cdot 28,5 \text{ ha}$) y unos gastos de 61000 € ($4000 \text{ €} + 2000 \text{ €/ha} \cdot 28,5 \text{ ha}$), lo que resulta en unos beneficios netos de 142775 € en cada intervención.

En el caso de cortas cada cuatro años ($h=4$), tendremos tres tranzones ($T/h=12/4=3$) y cada vez que intervengamos en la masa cortaremos un tercio de la superficie total del monte, es decir 38 ha. Por tanto, la corta de un tranzón supondrá unos ingresos de 271700 € ($130 \text{ m}^3/\text{ha} \cdot 55 \text{ €/m}^3 \cdot 38 \text{ ha}$) y unos gastos de 80000 € ($4000 \text{ €} + 2000 \text{ €/ha} \cdot 38 \text{ ha}$), lo que resulta en unos beneficios netos de 191700 € en cada intervención.

Conociendo lo anterior, y suponiendo como dice el enunciado que las primeras cortas se realizan dentro de h años sobre masas a la edad del turno en cualquiera de los casos, podemos calcular para cada uno de los valores de h el valor actual neto (VAN) de los beneficios (B) resultantes de cada una de las intervenciones según el año en que se produce cada una de ellas (t) y tomando una tasa de descuento anual del 2% ($r=0.02$) y el año actual como año de referencia ($\text{VAN}=B/((1+r)^t)$). El VAN total de la rotación completa (12 años) lo obtendremos como suma del VAN de cada una de las intervenciones correspondientes a la periodicidad de las cortas fijada.

Cortas cada dos años ($h=2$)					
Año (t)	Superficie cortada (ha)	Ingresos (€)	Gastos (€)	Beneficios netos (B) (€)	VAN (€)
2	19	135850	42000	93850	90206
4	19	135850	42000	93850	86703
6	19	135850	42000	93850	83336
8	19	135850	42000	93850	80100
10	19	135850	42000	93850	76990
12	19	135850	42000	93850	74000
VAN total (€)					491335

Cortas cada tres años ($h=3$)					
Año (t)	Superficie cortada (ha)	Ingresos (€)	Gastos (€)	Beneficios netos (B) (€)	VAN (€)
3	28,5	203775	61000	142775	134540
6	28,5	203775	61000	142775	126780
9	28,5	203775	61000	142775	119468
12	28,5	203775	61000	142775	112577
VAN total (€)					493365

Cortas cada cuatro años ($h=4$)					
Año (t)	Superficie cortada (ha)	Ingresos (€)	Gastos (€)	Beneficios netos (B) (€)	VAN (€)
4	38	271700	80000	191700	177101
8	38	271700	80000	191700	163614
12	38	271700	80000	191700	151154
VAN total (€)					491869

De donde se obtiene que lo que más interesa es formar cuatro tranzones y hacer las cortas cada 3 años ($h=3$), dado que es la opción que produce un mayor rendimiento financiero (mayor VAN). De todos modos, se observa que las diferencias son pequeñas, y que el criterio del VAN no es en este caso decisivo a la hora de decantarse por una u otra periodicidad de las cortas. En buena medida, la ventaja de obtener los primeros ingresos en un plazo menor ($h=2$) queda compensada en términos financieros por los mayores costes fijos derivados de la mayor frecuencia de las intervenciones.

El valor del VAN calculado variará si se elige otro año de referencia distinto del aquí tomado, o si se considera un horizonte temporal más amplio (tal como un infinito número de rotaciones sucesivas) frente a la única rotación (12 años) aquí considerada, pero igualmente el valor máximo del VAN se obtendría para la misma periodicidad de las cortas aquí determinada ($h=3$).

En efecto, podemos calcular el VAN que resultaría al considerar infinitos ciclos de producción (VAN_{inf}) a partir del VAN total resultante de un solo ciclo de producción para cada uno de los valores de h (VAN_1 , ya calculado anteriormente, e igual a 491335 €, 493365 €, y 491869 € para $h=2, 3$ y 4 respectivamente) mediante la siguiente expresión, donde r es la tasa de descuento anual (0,02 en este caso), y t es número de años del ciclo o turno establecido ($t=12$ en este caso):

$$VAN_{inf} = \frac{VAN_1}{1 - (1 + r)^{-t}}$$

Con lo que nos queda $VAN_{inf} = 2323022$ € para $h=2$ años, $VAN_{inf} = 2332620$ € para $h=3$ años y $VAN_{inf} = 2325547$ € para $h=4$ años, obteniéndose por tanto las mismas conclusiones que cuando se había considerado un solo ciclo de producción.

EJERCICIO 3. Un monte de 326 hectáreas de *Pinus nigra* situado en la comarca leridana del Solsonès y con calidad de la estación homogénea se pretende ordenar mediante el método del tramo único. Se fija un periodo de regeneración de 20 años y un turno de 100 años. Las primeras cortas de aclareo sucesivo se van a realizar al final del año actual, y el resto de las cortas se harán igualmente al final del año correspondiente. El inventario realizado tras el verano del año actual arroja los siguientes resultados:

Cantón	Edad media de la masa (años)	Cabida arbolada (ha)	Existencias (m ³ /ha)	Crecimiento corriente (m ³ /ha-año)
1	70	31	285	7,4
2	70	25	306	7,6
3	50	37	203	8,1
4	105	18	398	5,9
5	Raso por incendio	18	--	--
6	50	38	196	8,3
7	90	14	370	6,5
8	80	12	341	7,1
9	30	31	79	6,0
10	60	23	279	7,7
11	30	38	67	6,2
12	115	15	412	5,5
13	20	26	41	3,2

Se pide:

1. a) Formar el tramo único, el grupo de preparación y el grupo de mejora, teniendo en cuenta que, por restricciones impuestas a la extensión de las superficies de corta, no se pueden incluir en el tramo único cantones que sean contiguos. En la figura siguiente se muestra la situación aproximada de los cantones en el monte. Se permiten desviaciones del $\pm 10\%$ sobre la equiproductividad o cabida periódica a la hora de formar el tramo único si con ello se consigue evitar la división de los cantones.



b) Indicar la edad de corta de cada uno de los cantones del tramo único. ¿Qué sacrificios de cortabilidad adicionales se cometen debidos específicamente a la restricción de la contigüidad de las superficies de corta?

2. a) Calcular la posibilidad de regeneración en el tramo único, la posibilidad total y la posibilidad de mejora. ¿Qué intensidad media de las claras y clareos (expresadas como porcentaje del volumen extraído) resulta en los cantones donde se realizan los tratamientos de mejora? (suponer que toda la posibilidad de mejora calculada anteriormente corresponde a claras y clareos en dichos cantones).

b) Organizar las cortas de aclareo sucesivo uniforme dentro del tramo único y las cortas de mejora en el resto del monte durante los próximos 20 años. Las cortas de aclareo sucesivo se ejecutarán en tres fases o intervenciones diferenciadas correspondientes a las cortas preparatorias (extracción del 20% de la posibilidad), diseminatorias (extracción del 50% de la posibilidad) y finales (extracción del 30% restante), debiendo existir una separación de al menos siete años entre cada una de esas tres intervenciones en un mismo punto del monte, para permitir una adecuada diseminación y regeneración teniendo en cuenta la vecería de la especie y la variabilidad climática interanual. Los medios técnicos y humanos disponibles y otros objetivos y condicionantes de la gestión sólo permiten extraer un máximo de unos 2000 m³ al año, y se considera que no es rentable llevar a cabo cortas en un año determinado si las extracciones resultantes son inferiores a 1000 m³, tanto para las cortas de regeneración como para las de mejora. No es necesario analizar ni especificar en qué cantones o partes de cantones concretos se llevarían a cabo las distintas actuaciones programadas dentro del tramo único ni tampoco dentro de los grupos de preparación y mejora.

c) Suponemos que las cortas de aclareo sucesivo uniforme en el tramo único se van a llevar a cabo en tres fases consistentes en unas cortas preparatorias (realizadas en el primer año del periodo de regeneración), unas cortas diseminatorias (realizadas en un año sin determinar del periodo de regeneración) y unas cortas finales (realizadas en el último año del periodo de regeneración), en cada una de las cuales se extraerá una determinada proporción del volumen total que presenta inicialmente el tramo único. Deducir qué fórmula general cabría aplicar en este caso para el cálculo de la posibilidad de regeneración en el tramo y en qué difiere dicha fórmula de la de la masa cortable aplicada habitualmente en el método del tramo único. Suponer para simplificar que todas las cortas de una misma fase se hacen en un mismo año y que los mismos crecimientos corrientes que da el inventario se pueden aplicar sin variaciones durante todo el periodo de regeneración. Aplicar la fórmula obtenida a un caso en el que se realicen unas cortas preparatorias en el año actual en las que se extraiga el 30% del volumen inicial de la masa, unas cortas diseminatorias en el sexto año del periodo de regeneración en las que se extraiga el 50% del volumen inicial de la masa, y unas cortas finales al final de periodo de regeneración (año 20) en las que se extraiga el restante 20% del volumen inicial.

SOLUCIÓN

1. a)

En primer lugar es necesario conocer la cabida que corresponde al tramo único que se desea formar (S_{TR}), lo que calculamos a partir de la superficie total del monte (S_{TOT}), el turno fijado (T) y el periodo de regeneración (p):

$$S_{TR} = \frac{S_{TOT}}{T/p} = \frac{326}{100/20} = 65,2 \text{ ha}$$

Teniendo en cuenta que se contempla una tolerancia del $\pm 10\%$ sobre la equiproductividad (lo que, por ser este un caso de calidad homogénea, equivale a permitir una desviación del 10% sobre la cabida periódica), tenemos que la superficie del tramo único formado debe estar entre las 58,7 ha ($65,2 \text{ ha} \cdot 0,9$) y las 71,7 ha ($65,2 \text{ ha} \cdot 1,1$).

Pasamos entonces a formar el tramo único, teniendo en cuenta que existe un cantón raso por un incendio forestal (el cantón 5) y que es por tanto urgente regenerar y poner en producción, siendo el primero que se debe incorporar al tramo único. Tras el cantón 5, se debe seguir el orden decreciente de edades (cantones 12, 4, 7, 8, etc.), al no constar que existan otros cantones con daños de importancia. Se debe tener en cuenta la restricción impuesta de no incluir cantones contiguos en el tramo único.

La edad media de corta de las masas de cada uno de los cantones se obtiene sumando a la edad actual que proporciona el inventario la mitad del periodo de regeneración ($p/2$) ya que, aunque el aclareo sucesivo irá extrayendo el arbolado en diferentes intervenciones a lo largo de ese periodo de regeneración, suponemos que $p/2$ es representativo del año medio de corta del arbolado en el tramo.

Tramo único. A cortar entre el año actual y el año +20. Formación provisional					
Cantón	Edad media actual (años)	Edad media de corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie (ha)	Superficie acumulada (ha)
5	--	--	--	18	18
12	115	125	+25	15	33
4	105	115	+15	18	51

Los tres cantones incorporados hasta este punto (5, 12, 4) no son contiguos entre sí. Siguiendo el criterio decreciente de edades el siguiente cantón que correspondería incorporar sería el cantón 7, pero éste es contiguo al cantón 5, que tiene prioridad por ser raso por incendio, por lo que habría que descartar este cantón 7 como parte del tramo único. Tampoco es conveniente cerrar la formación del tramo único con los cantones incorporados hasta ahora, dado que sólo tienen una cabida total de 51 ha, por debajo del mínimo establecido anteriormente aun considerando la tolerancia del 10% (58,7 ha). El siguiente cantón que correspondería incluir por edad es el cantón 8, que además no es contiguo a ninguno de los cantones ya incorporados (es contiguo al 7, pero esto no es obviamente inconveniente, puesto que este cantón 7 no se va a incluir en el tramo único). Por tanto, incluimos también este cantón 8 al tramo único, que queda de la siguiente manera:

Tramo único. A cortar entre el año actual y el año +20. Formación definitiva					
Cantón	Edad media actual (años)	Edad media de corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie (ha)	Superficie acumulada (ha)
5	--	--	--	18	18
12	115	125	+25	15	33
4	105	115	+15	18	51
8	80	90	-10	12	63

El tramo único queda entonces con una superficie de 63 ha, dentro del rango establecido anteriormente (entre 58,7 ha y 71,7 ha). No incorporamos más cantones al tramo, dado que de incorporar cualquiera de los siguientes que corresponden por el orden decreciente de edades (cantones 1 o 2) el tramo excedería con mucho la superficie máxima admitida. Por otro lado, tampoco nos interesa teniendo en cuenta que las masas de los cantones 1 y 2 tienen una edad media actual de 70 años, y que de incorporarse al tramo único se cortarían bastante antes del turno fijado (resultaría una edad media de corta de 80 años, 20 antes del turno), mientras que si en el futuro se incluyesen en el siguiente tramo único a formar en una nueva planificación, se cortarían de media precisamente a la edad del turno fijado. Finalmente, tampoco podríamos incorporar al tramo único ninguno de estos dos cantones (1 y 2) por la restricción impuesta sobre las superficies de corta, ya que ambos son contiguos a alguno de los cantones que ya hemos incorporado en el tramo. Por tanto, cerramos la formación del tramo único como figura en la tabla anterior.

Para el grupo de preparación nos queda en primer lugar el cantón 7, que tiene una edad de 90 años y una cabida de 14 ha, y no lo hemos incluido en el tramo único por la restricción de evitar la contigüidad entre las unidades de corta. Tras este cantón 7, los siguientes en prioridad serían los cantones 1 y 2, ambos con masas de 70 años de edad, y superficies de 31 y 25 ha respectivamente. Si incluimos sólo uno de estos dos cantones junto con el cantón 7, el grupo de preparación tendría una superficie inferior a 50 ha, muy por debajo de la superficie que correspondería a un nuevo tramo único que se pudiera formar en una futura planificación en el monte, que posiblemente y de no producirse ningún imprevisto ni cambios en los objetivos de gestión, se correspondería con este grupo de preparación. Si incorporamos los tres cantones (7, 1 y 2) la superficie total del grupo de preparación es de 70 ha, dentro del rango de superficies admitido en este caso para el tramo. Por otro lado, ninguno de estos tres cantones es contiguo entre sí, por lo que formamos definitivamente el grupo de preparación con los cantones 7, 1 y 2 completos.

El grupo de mejora quedaría constituido por el resto de cantones del monte, es decir, por los cantones 3, 6, 9, 10, 11 y 13, con una superficie total de 193 ha.

1. b)

Las edades medias de corta en las masas de cada uno de los cantones ya se han indicado en el apartado anterior. Tal como ha quedado formado el tramo único, se cometen sacrificios de cortabilidad, de mayor o menor entidad, en todos los cantones, dejando de lado el caso del cantón 5 en el que no corresponde hablar de sacrificios de cortabilidad. Los sacrificios de cortabilidad en los cantones 12 y 4 son inevitables, ya que las masas de estos cantones presentan ya actualmente edades superiores al turno fijado, fruto posiblemente de una inadecuada planificación, falta de medios, abandono de la gestión o de unos diferentes objetivos de la misma en los años pasados, y la

única alternativa para minimizar los sacrificios de cortabilidad en lo que se refiere a estos dos cantones consiste en proceder a su corta y puesta en regeneración lo antes posible, como ya se ha tenido en cuenta en la ordenación al incluirlos en el tramo único recién formado en el que se va a empezar a intervenir de manera inmediata. En cuanto al cantón 8, que se incluyó en el tramo único tras descartar la incorporación del cantón 7 por la restricción de la contigüidad de las unidades de corta, tenemos que se corta con una edad media 10 años inferior a la del turno fijado. Sin embargo, si hubiéramos dejado este cantón en el grupo de preparación a la espera de su corta en un siguiente tramo único a formar en una futura planificación (previsiblemente 20 años después), habría resultado una edad media de corta de 110 años (80 años de edad actual + 20 años hasta el comienzo de las cortas en un futuro tramo único + 10 años de la mitad del periodo de regeneración), y habría presentado igualmente un sacrificio de cortabilidad de 10 años, en tal caso por encima del turno, con lo que no parece que se pueda considerar que se hayan cometido sacrificios de cortabilidad adicionales por incluir este cantón en el tramo único debido a la restricción de la contigüidad de las unidades de corta. Sin embargo el cantón 7, que no se pudo incluir por tal motivo en el tramo único, se cortará, suponiendo que se incluya en el siguiente tramo que se forme en el futuro (dentro de 20 años), con una edad media de 120 años (90 años de edad actual + p años hasta el inicio de las cortas en un siguiente tramo único + $p/2$ de año medio de las cortas del arbolado en dicho tramo), es decir con un sacrificio de cortabilidad de 20 años por encima del turno, mientras que si se hubiera incluido en el actual tramo único se habría cortado con una edad media igual a la del turno. Por tanto, la restricción a la contigüidad de los cantones cortados dará lugar a un sacrificio de cortabilidad adicional de 20 años en uno de los cantones del monte.

2. a)

La posibilidad total (P_{tot}) es la suma de la posibilidad de las cortas de regeneración (P_{reg}) en el tramo único y de la posibilidad procedente de las cortas de mejora (P_{mej}) en el grupo de preparación y en el grupo de mejora:

$$P_{tot} = P_{reg} + P_{mej}$$

Calculamos la posibilidad de regeneración (P_{reg}) mediante la fórmula de la masa cortable aplicada al tramo único:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR}}{p} + \frac{C_{TR}}{2}$$

donde V_{TR} y C_{TR} son respectivamente el volumen aprovechable y el crecimiento corriente del tramo único.

Calculamos entonces la posibilidad de regeneración teniendo en cuenta que el tramo único ha quedado formado por los cantones 5, 12, 4 y 8, de los que sólo aportarán existencias aprovechables y crecimiento corriente los tres últimos, al ser el cantón 5 un raso por incendio, resultando que $V_{TR} = 17436 \text{ m}^3$ ($15 \text{ ha} \cdot 412 \text{ m}^3/\text{ha} + 18 \text{ ha} \cdot 398 \text{ m}^3/\text{ha} + 12 \text{ ha} \cdot 341 \text{ m}^3/\text{ha}$) y que $C_{TR} = 274 \text{ m}^3/\text{año}$ ($15 \text{ ha} \cdot 5,5 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 18 \text{ ha} \cdot 5,9 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 12 \text{ ha} \cdot 7,1 \text{ m}^3/\text{ha-año}$).

$$P_{reg} = \frac{17436}{20} + \frac{274}{2}$$

$$P_{reg} = 1009 \text{ m}^3/\text{año}$$

Calculamos la posibilidad total del monte mediante la fórmula de la masa cortable aplicada al conjunto del cuartel (que coincide con el monte en este caso):

$$P_{TOT} = \frac{V_{CU}}{T} + \frac{C_{CU}}{2}$$

donde V_{CU} y C_{CU} son respectivamente el volumen aprovechable y el crecimiento corriente de todo el cuartel.

Calculamos este volumen y crecimiento de manera análoga al caso de la posibilidad de regeneración, pero incluyendo ahora todos los cantones del monte, independientemente de si pertenecen al tramo único, al grupo de preparación o al grupo de mejora. Así, tenemos que $V_{CU} = 66538 \text{ m}^3$ ($31 \text{ ha} \cdot 285 \text{ m}^3/\text{ha} + 25 \text{ ha} \cdot 306 \text{ m}^3/\text{ha} + 37 \text{ ha} \cdot 203 \text{ m}^3/\text{ha} + 18 \text{ ha} \cdot 398 \text{ m}^3/\text{ha} + 38 \text{ ha} \cdot 196 \text{ m}^3/\text{ha} + 14 \text{ ha} \cdot 370 \text{ m}^3/\text{ha} + 12 \text{ ha} \cdot 341 \text{ m}^3/\text{ha} + 31 \text{ ha} \cdot 79 \text{ m}^3/\text{ha} + 23 \text{ ha} \cdot 279 \text{ m}^3/\text{ha} + 38 \text{ ha} \cdot 67 \text{ m}^3/\text{ha} + 15 \text{ ha} \cdot 412 \text{ m}^3/\text{ha} + 26 \text{ ha} \cdot 41 \text{ m}^3/\text{ha}$) y que $C_{CU} = 2081 \text{ m}^3/\text{año}$ ($31 \text{ ha} \cdot 7,4 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 25 \text{ ha} \cdot 7,6 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 37 \text{ ha} \cdot 8,1 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 18 \text{ ha} \cdot 5,9 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 38 \text{ ha} \cdot 8,3 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 14 \text{ ha} \cdot 6,5 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 12 \text{ ha} \cdot 7,1 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 31 \text{ ha} \cdot 6,0 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 23 \text{ ha} \cdot 7,7 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 38 \text{ ha} \cdot 6,2 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 15 \text{ ha} \cdot 5,5 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 26 \text{ ha} \cdot 3,2 \text{ m}^3/\text{ha-año}$).

$$P_{tot} = \frac{66538}{100} + \frac{2081}{2}$$

$$P_{tot} = 1706 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por último, obtenemos la posibilidad de mejora como diferencia entre la posibilidad total y la posibilidad de regeneración, resultando:

$$P_{mej} = 1706 - 1009 = 697 \text{ m}^3/\text{año}$$

Esta posibilidad de mejora representa un total de 13940 m^3 a extraer en el periodo de 20 años mediante las cortas a realizar en el grupo de preparación y grupo de mejora. Para estimar la intensidad media de las claras y clareos, expresada como el porcentaje del volumen extraído, y suponiendo que, como indica el enunciado,

toda la posibilidad de mejora se obtiene de las claras y clareos a realizar, debemos calcular el volumen total en los cantones sobre los que se van a aplicar (cantones 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10, 11 y 13). Estos tratamientos de mejora se van a ir aplicando durante dicho periodo de 20 años, realizándose en algunos cantones al principio del periodo (año actual), en otros al final del mismo (dentro de 20 años), y en otros en los años intermedios. Podemos suponer para los cálculos que las claras y clareos se aplican en términos medios al final del año $p/2$ (10 en este caso), resultando un volumen total sobre el que se aplican las claras de 67176 m³, suma de los 49102 m³ de volumen actual en dichos cantones (31 ha · 285 m³/ha + 25 ha · 306 m³/ha + 37 ha · 203 m³/ha + 38 ha · 196 m³/ha + 14 ha · 370 m³/ha + 31 ha · 79 m³/ha + 23 ha · 279 m³/ha + 38 ha · 67 m³/ha + 26 ha · 41 m³/ha) y del producto de 10 años de crecimiento por el crecimiento corriente de 1807,4 m³/año en los mismos (31 ha · 7,4 m³/ha-año + 25 ha · 7,6 m³/ha-año + 37 ha · 8,1 m³/ha-año + 38 ha · 8,3 m³/ha-año + 14 ha · 6,5 m³/ha-año + 31 ha · 6,0 m³/ha-año + 23 ha · 7,7 m³/ha-año + 38 ha · 6,2 m³/ha-año + 26 ha · 3,2 m³/ha-año).

Por tanto, se extraerán en forma de posibilidad de mejora 13940 m³ de un total de 67176 m³ de existencias en los grupos de preparación y mejora, lo que representa una intensidad media de las claras y clareos de un 21% del volumen total.

2. b)

La posibilidad de regeneración en el tramo único es de 1009 m³/año, o de 20180 m³ en el total de los 20 años del periodo de regeneración. De esa posibilidad, se extraerá el 20% en las cortas preparatorias (4036 m³), el 50% en las diseminatorias (10090 m³) y el 30% restante en las cortas finales (6054 m³). No es posible realizar ninguna de esas tres cortas en toda la superficie del tramo único en un mismo año, porque las extracciones superarían con creces lo que es abordable con los medios disponibles, según el enunciado. Por tanto, resulta necesario dividir el tramo único en varios subtramos para ir ejecutando en años diferentes las cortas de aclareo sucesivo en sus distintas fases de forma progresiva. Atendiendo a las cortas preparatorias, se necesitarían formar al menos dos subtramos para realizar las cortas en diferentes años (de manera que en cada uno de ellos se extrajera la mitad del total de 4036 m³, próximo al máximo de 2000 m³/año establecido), y como máximo se podrían formar cuatro subtramos (ya que de formar más cada uno de ellos estaría por debajo de los 1000 m³ de extracciones mínimas que rentabilizan la operación, según se indica en el enunciado). Atendiendo a las cortas diseminatorias, y por motivos análogos, se necesitarían formar al menos cinco subtramos (de los 10090 m³ totales se extraerían unos 2000 m³ en cada uno de los subtramos) y como máximo diez (se extraerían del orden de 1000 m³ en cada subtramo), y atendiendo a las cortas finales, se necesitarían formar entre tres y seis subtramos. Por tanto, no es posible formar los mismos subtramos (para distribuir las extracciones en diferentes años) en cada una de las fases de las cortas (preparatorias, diseminatorias y finales), dado que

se requiere un número diferente de subtramos para cada una de ellas. Aunque hay diferentes opciones para organizar las cortas, parece lo más conveniente que haya una correspondencia directa entre las diferentes unidades de corta o subtramos que se hayan formado para realizar las distintas fases del aclareo sucesivo en el monte, y que estas unidades tengan superficies similares. Por tanto, formaremos un total de seis subtramos (de acuerdo con los requisitos impuestos por los volúmenes a extraer en las cortas diseminatorias), y agruparemos estos seis subtramos (dos a dos) en sólo tres unidades (cada una de ellas formada por dos de esos subtramos) para el resto de las cortas (preparatorias y finales). En el caso de las cortas preparatorias, es obligado agruparlos en tres unidades para no superar el número máximo (cuatro) obtenido anteriormente, mientras que para las cortas finales podríamos formar tanto tres como seis unidades, optándose por la primera opción para agrupar volúmenes de corta y así rentabilizar en mayor medida las operaciones, dentro del máximo de extracciones permitido por los medios disponibles. No agrupamos los subtramos en sólo dos unidades (tres subtramos en cada una de ellas) porque eso no sería posible para el caso de las cortas finales y complicaría innecesariamente la organización de las cortas en comparación con la opción anterior.

Por tanto, y teniendo en cuenta que, como indica el enunciado, deben pasar al menos siete años entre las distintas fases de corta en un mismo punto del monte, proponemos finalmente la siguiente secuencia de cortas en el tramo único, procurando separar temporalmente lo más posible las distintas fases de las cortas de aclareo sucesivo uniforme, y siempre respetando ese mínimo de siete años establecido en el enunciado:

Año	Actuación
1	Cortas preparatorias en los subtramos I y II
2	Cortas preparatorias en los subtramos III y IV
3	Cortas preparatorias en los subtramos V y VI
4	
5	
6	
7	
8	Cortas diseminatorias en el subtramo I (siete años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
9	Cortas diseminatorias en el subtramo II (ocho años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)

10	Cortas diseminatorias en el subtramo III (ocho años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
11	Cortas diseminatorias en el subtramo IV (nueve años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
12	Cortas diseminatorias en el subtramo V (nueve años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
13	Cortas diseminatorias en el subtramo VI (diez años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
14	
15	
16	
17	
18	Cortas finales en los subtramos I y II (respectivamente diez y nueve años después de haber realizado las cortas diseminatorias en estos mismos subtramos)
19	Cortas finales en los subtramos III y IV (respectivamente nueve y ocho años después de haber realizado las cortas diseminatorias en estos mismos subtramos)
20	Cortas finales en los subtramos V y VI (respectivamente ocho y siete años después de haber realizado las cortas diseminatorias en estos mismos subtramos)

Nos quedan ocho años libres del periodo de 20 años para poder realizar las claras y clareos en los grupos de preparación y mejora. La posibilidad de mejora en el periodo es, como se calculó anteriormente, de 697 m³/año, lo que equivale a un total de 13940 m³ en el conjunto de los 20 años. Para que los volúmenes extraídos en las claras en un año determinado estén dentro de los límites establecidos en el enunciado (entre 1000 y 2000 m³) podremos formar entre siete y trece subgrupos para las cortas de mejora (que de media darían cada uno un volumen de 1991 m³ y 1072 m³ respectivamente). Como sólo quedan en el periodo ocho años libres (sin extracciones procedentes de las cortas de regeneración), podríamos entonces formar siete u ocho subgrupos para las cortas de mejora, decantándonos por esta última opción (ocho subgrupos), aunque en principio cualquiera de las dos sería correcta. En tal caso, cada uno de los ocho subgrupos de mejora tendrá una cabida media de unas 33 ha, teniendo en cuenta que la cabida total de los grupos de preparación (70 ha) y mejora (193 ha) es de 263 ha, y en el supuesto simplificado de que las cortas de mejora en los distintos cantones y subgrupos formados proporcionen extracciones similares por unidad de superficie. Por razones operativas, se decide no formar ningún subgrupo que suponga incorporar tanto superficie del grupo de preparación como del grupo de mejora, por lo que el grupo de preparación se divide en dos subgrupos (cada uno

de ellos con una cabida de 35 ha) y el grupo de mejora se divide en seis subgrupos (cada uno de ellos con una cabida de unas 32 ha). Distribuimos las cortas de mejora de acuerdo con estos ocho subgrupos formados, priorizando las actuaciones de mejora en el grupo de preparación, que es el que previsiblemente formará parte de un siguiente tramo único que se forme en el monte, y las presentamos en la siguiente tabla junto con las operaciones y subtramos relacionados con las cortas de regeneración organizadas anteriormente:

Año	Actuación
1	Cortas preparatorias en los subtramos I y II
2	Cortas preparatorias en los subtramos III y IV
3	Cortas preparatorias en los subtramos V y VI
4	Cortas de mejora en el subgrupo de preparación 1
5	Cortas de mejora en el subgrupo de preparación 2
6	Cortas de mejora en el subgrupo de mejora 1
7	Cortas de mejora en el subgrupo de mejora 2
8	Cortas diseminatorias en el subtramo I (siete años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
9	Cortas diseminatorias en el subtramo II (ocho años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
10	Cortas diseminatorias en el subtramo III (ocho años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
11	Cortas diseminatorias en el subtramo IV (nueve años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
12	Cortas diseminatorias en el subtramo V (nueve años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
13	Cortas diseminatorias en el subtramo VI (diez años después de haber realizado las cortas preparatorias en este mismo subtramo)
14	Cortas de mejora en el subgrupo de mejora 3
15	Cortas de mejora en el subgrupo de mejora 4
16	Cortas de mejora en el subgrupo de mejora 5
17	Cortas de mejora en el subgrupo de mejora 6
18	Cortas finales en los subtramos I y II (respectivamente diez y nueve años después de haber realizado las cortas diseminatorias en estos mismos subtramos)

19	Cortas finales en los subtramos III y IV (respectivamente nueve y ocho años después de haber realizado las cortas diseminatorias en estos mismos subtramos)
20	Cortas finales en los subtramos V y VI (respectivamente ocho y siete años después de haber realizado las cortas diseminatorias en estos mismos subtramos)

2. c)

Llamemos x a la proporción del volumen de la masa inicial que se extrae en las cortas preparatorias, y a la proporción del volumen de la masa inicial que se extrae en las cortas diseminatorias, y z a la proporción del volumen de la masa inicial que se extrae en las cortas finales. Suponemos, como indica el enunciado, que las cortas preparatorias se hacen al final del año actual (y dado que el inventario se ha realizado tras el verano del mismo año, según indica el enunciado, no corresponde computarle a esa parte de la masa ningún año de crecimiento) y que las finales se hacen al final del año p , último año del periodo de regeneración (correspondiéndole entonces p años de crecimiento a la parte de la masa extraída en las cortas finales). Llamamos n al año al final del cual se realizan las cortas diseminatorias (correspondiéndole n años de crecimiento a la parte de la masa extraída en dichas cortas). V_{TR} es el volumen inicial del tramo único (expresado en m^3) y C_{TR} el crecimiento corriente del tramo único (expresado en $m^3/año$). Suponemos, como indica el enunciado, que todas las cortas de una misma fase se hacen en el mismo año, y que los crecimientos corrientes que da el inventario se pueden aplicar durante todo el periodo de regeneración, con lo que la posibilidad de regeneración (P_{reg} , expresada en $m^3/año$) queda entonces como:

$$P_{reg} = \frac{x \cdot V_{TR} + y \cdot (V_{TR} + n \cdot C_{TR}) + z \cdot (V_{TR} + p \cdot C_{TR})}{p}$$

Agrupando los términos correspondientes a V_{TR} y a C_{TR} queda:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR} \cdot (x + y + z) + C_{TR} \cdot (y \cdot n + z \cdot p)}{p}$$

Obviamente $x + y + z = 1$, con lo que la fórmula general para el cálculo de la posibilidad de regeneración queda:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR} + C_{TR} \cdot (y \cdot n + z \cdot p)}{p}$$

En el caso concreto de que $n = p/2$ (cortas diseminatorias realizadas en el año medio del periodo de regeneración) tenemos:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR} + C_{TR} \cdot p \cdot (y/2 + z)}{p}$$

Y si además suponemos que $z=x$ (misma proporción de la masa inicial extraída en las cortas preparatorias y en las cortas diseminatorias), como $x + y + z = 1$, entonces $2z + y = 1$, y por tanto $y=1 - 2z$, que sustituimos en la fórmula anterior quedando:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR} + C_{TR} \cdot p \cdot (1 - 2z/2 + z)}{p} = \frac{V_{TR} + C_{TR} \cdot p \cdot (1/2 - z + z)}{p} = \frac{V_{TR}}{p} + \frac{C_{TR}}{2}$$

Fórmula que coincide exactamente con la de la masa cortable aplicada al tramo en regeneración. Vemos entonces que la fórmula de la masa cortable es realmente exacta sólo si $y \cdot n + z \cdot p = 1/2$, lo que se produce por ejemplo cuando las cortas preparatorias tienen la misma intensidad que las finales ($x=z$) y las cortas diseminatorias se producen en el año medio del periodo de regeneración ($n=p/2$). En definitiva, la fórmula de la masa cortable utilizada en el apartado anterior para el cálculo de la posibilidad de regeneración se basa en suponer que el año medio de corta de los pies que forman parte del tramo único coincide con el año medio del periodo de regeneración. La diferencia entre el resultado que proporciona la fórmula habitual de la masa cortable y el de la fórmula más general obtenida aquí será mayor cuanto más se desvíen las cortas de aclareo sucesivo de esos supuestos (en función de las necesidades selvícolas y del ritmo de progresión de las cortas de aclareo sucesivo), dependerá también de la magnitud del crecimiento de las masas del tramo (C_{TR} en comparación con V_{TR}), de manera que en masas jóvenes o con crecimientos corrientes más elevados la diferencia será más notoria y menor en el caso contrario, y de la propia duración del periodo de regeneración (pudiendo ser dichas diferencias mayores cuanto mayor sea p). En ambos casos (tanto en la fórmula de la masa cortable como en la más general aquí obtenida) estamos suponiendo que los crecimientos corrientes obtenidos del inventario se pueden aplicar sin modificaciones durante los p años del periodo de regeneración.

Si aplicamos la fórmula general al caso concreto indicado en el enunciado ($x=0.3$, $y=0.5$, $z=0.2$, $n=6$, $p=20$), teniendo en cuenta que V_{TR} y C_{TR} son respectivamente 17436 m^3 y $274 \text{ m}^3/\text{año}$ (ya calculados en un apartado anterior), tenemos que:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR} + C_{TR} \cdot (y \cdot n + z \cdot p)}{p} = \frac{17436 + 274 \cdot (0,5 \cdot 6 + 0,2 \cdot 20)}{20}$$

$$P_{reg} = 967,7 \text{ m}^3/\text{año}$$

Valor de la posibilidad de regeneración que resulta algo menor que el calculado en el apartado anterior mediante la fórmula de la masa cortable ($1009 \text{ m}^3/\text{año}$), aunque las diferencias en este caso son pequeñas dado que el crecimiento del tramo es bajo ($274 \text{ m}^3/\text{año}$) en comparación con las existencias del mismo (17436 m^3). En general, las diferencias entre ambas fórmulas son pequeñas, y los valores proporcionados por la fórmula de la masa cortable se pueden considerar suficientemente aproximados, salvo que se trate de tramos con crecimientos comparativamente mayores por las características de la especie, de la estación o por haberse fijado edades de corta más tempranas (resultantes por ejemplo de criterios financieros).

EJERCICIO 4. Se desea iniciar la ordenación de un monte de *Pinus sylvestris* situado en el Pirineo oscense mediante el método del tramo único con un periodo de regeneración de 20 años, para lo que se deben planificar los tratamientos selvícolas en el conjunto monte durante dicho periodo. Las masas actuales presentan algunas deficiencias en la gestión pasada y en las densidades y existencias de algunos cantones respecto a lo previsto en la ordenación. Los datos del inventario se resumen en la tabla siguiente:

Cantón	Edad (años)	Cabida (ha)	Calidad	Área basimétrica (m ² /ha)	Existencias maderables (m ³)	Crecimiento corriente (m ³ /año)
1	87	18	I	46	8100	91,8
2	79	25	II	45	8750	105,0
3	68	16	I	35	5600	129,6
4	52	33	I	34	10560	290,4
5	12	40	II	11	1200	-
6	9	32	I	9	1920	-
7	103	31	II	41	7750	114,7
8	33	24	II	27	2880	158,4
9	63	36	I	48	13032	270,0
10	62	23	II	34	6210	133,4
11	95	25	I	47	12000	125,0
12	46	32	I	43	9600	265,6
13	85	19	II	41	5757	81,7
Total		354			93359	1765,6

Se fija un turno de 80 años para la calidad I, y 20 años mayor para la calidad II con el fin de obtener en las cortas finales un diámetro cuadrático medio por encima de los 35 cm en los dos casos, conforme a las tablas de producción¹ que corresponden a las calidades presentes en el monte y que se van a usar como modelo de gestión para la

1. Datos de las tablas de producción tomados de: Garcia Abejón, J.L., Tella Ferreiro, G., 1986. Tablas de producción de densidad variable para *Pinus sylvestris* L. en el Sistema Pirenaico. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Recursos Naturales, n° 43, p. 28.

ordenación que ahora comienza, y que proporcionan los siguientes valores de área basimétrica (AB) y volumen (V):

Calidad I						
Edad (años)	Masa principal antes de clara		Masa extraída		Masa principal después de clara	Masa total
	AB (m²/ha)	V (m³/ha)	AB (m²/ha)	V (m³/ha)	AB (m²/ha)	V (m³/ha)
30	30,0	151,8	2,9	12,0	27,1	151,8
40	36,4	227,5	3,6	19,6	32,8	239,5
50	40,4	299,1	3,5	23,2	36,9	330,7
60	42,9	362,0	3,1	24,5	39,8	416,8
70	44,6	418,0	2,9	25,7	41,7	497,3
80	45,6	464,7	2,5	23,7	43,1	569,7
90	46,4	506,3	2,4	25,4	44,0	635,0
100	46,8	541,4	2,0	22,4	44,8	695,5
110	47,1	572,7	1,8	20,9	45,3	749,2
120	47,2	598,5	0	0	47,2	795,9

Calidad II						
Edad (años)	Masa principal antes de clara		Masa extraída		Masa principal después de clara	Masa total
	AB (m²/ha)	V (m³/ha)	AB (m²/ha)	V (m³/ha)	AB (m²/ha)	V (m³/ha)
30	25,1	114,8	1,7	5,7	23,4	114,8
40	31,1	168,8	2,4	11,0	28,7	174,5
50	35,0	221,3	2,5	14,0	32,5	238,0
60	37,3	265,1	2,4	15,0	34,9	295,8
70	38,7	301,9	2,1	14,9	36,6	347,6
80	39,8	334,5	2,0	15,0	37,8	395,1
90	40,6	364,9	1,7	14,1	38,9	440,5

100	40,9	387,6	1,5	13,4	39,4	477,3
110	41,2	408,0	1,4	13,1	39,8	511,1
120	41,3	425,7	0	0	41,3	541,9

Se pide:

1. Formar el tramo único sabiendo que se permiten desviaciones de hasta el $\pm 15\%$ sobre la equiproductividad. Considerar para la equiproductividad únicamente las extracciones procedentes de las cortas finales, ya que se supone que las claras y otras cortas de mejora o bien no resultan rentables por sí mismas y requieren una inversión por parte de la propiedad, o bien proporcionan un beneficio económico comparativamente muy inferior al de la cortas de regeneración.
2. Calcular la posibilidad de regeneración, la posibilidad total y la posibilidad de mejora en el monte actual utilizando las fórmulas de la masa cortable.
3. Calcular la posibilidad de mejora a partir de la comparación del inventario actual con la tabla de producción, suponiendo que toda la posibilidad de mejora corresponde a claras y clareos en los grupos de preparación y mejora. Se realizarán claras en aquellos cantones con edad superior a 20 años en los que el área basimétrica actual sea como mínimo un 10% superior al área basimétrica después de la clara que marca como objetivo la tabla de producción para la edad y calidad de la masa, realizando en tal caso las extracciones que correspondan para alcanzar ese área basimétrica objetivo después de la clara (en una única intervención en cada cantón durante el periodo de 20 años considerado). En los cantones con edades inferiores a 20 años se realizará un único clareo durante el periodo considerado en el que se extraerá el 10% del volumen total de la masa en pie. Comparar la posibilidad de mejora así estimada con la obtenida en el apartado anterior y discutir los motivos de las diferencias obtenidas.
4. Calcular cuál sería la posibilidad de regeneración, la posibilidad total y la posibilidad de mejora una vez que el monte estuviera ordenado conforme a la estructura de monte normal. Comparar los resultados obtenidos con los de los apartados anteriores y discutir los motivos de las diferencias obtenidas.

SOLUCIÓN

1.

Si se hubiera fijado un único turno de 80 años para todo el monte y éste tuviera una única calidad de la estación (calidad I) tendríamos que la cabida periódica que correspondería al tramo único a formar (S_{TR}) vendría dada por la siguiente expresión, en función de la cabida total del monte (S_{TOT}), el turno (T) y el periodo de regeneración (p) fijados:

$$S_{TR} = \frac{S_{TOT}}{\frac{T}{p}} = \frac{354}{\frac{80}{20}} = 88,5 \text{ ha}$$

Si en cambio se hubiera fijado un único turno de 100 años para todo el monte y éste tuviera una única calidad de la estación (calidad II) tendríamos que la cabida que correspondería al tramo único (S_{TR}) sería:

$$S_{TR} = \frac{S_{TOT}}{\frac{T}{p}} = \frac{354}{\frac{100}{20}} = 70,8 \text{ ha}$$

Sin embargo, ni todo el monte es de la misma calidad, ni se ha fijado el mismo turno en todo él, con lo que no es correcto formar el tramo único de acuerdo a ninguna de esas dos cabidas. Por tanto, debemos acudir al caso más general de formar un tramo único que sea equiproductivo, en el sentido de que en el supuesto de que las sucesivas planificaciones en el monte mantengan el mismo método de ordenación y vayan formando sucesivos tramos únicos en el futuro, todos estos tramos proporcionen la misma posibilidad en el monte ordenado, considerando en este caso y a estos efectos la posibilidad proporcionada por las cortas finales o de regeneración, tal y como indica el enunciado.

En el monte ordenado está previsto que todas las cortas se hagan ya sobre masas a la edad del turno, obteniéndose las existencias de la masa en pie (masa principal antes de clara, que es la masa que encontraremos en pie en el monte a la hora de las cortas de regeneración) de la tabla de producción adjunta que corresponde al tipo de selvicultura que se va a aplicar, y cortándose todos los cantones una sola vez durante un periodo igual al turno. En el caso de los cantones de calidad I (cantones 1, 3, 4, 6, 9, 11 y 12, con una superficie total de 192 ha), la producción total procedente de las cortas finales durante un ciclo de 80 años en el monte ordenado se estima de 89222 m³ (resultado de multiplicar las 192 ha por los 464,7 m³/ha que marca la tabla de producción para la masa principal antes de clara a esos 80 años de edad y calidad), equivalentes a 1115,3 m³/año.

En el caso de los cantones de calidad II (cantones 2, 5, 7, 8, 10 y 13, con una superficie total de 162 ha), la producción total procedente de las cortas finales o de regeneración durante un ciclo de 100 años en el monte ordenado se estima de 62791 m³ (resultado de multiplicar las 162 ha por los 387,6 m³/ha que marca la tabla de producción para la masa principal antes de clara a esos 100 años de edad y calidad), equivalentes a 627,9 m³/año.

Por tanto, sumando la producción (en m³/año) procedente de las cortas finales en los cantones de la calidad I y II, el conjunto del monte tendrá una producción media anual de 1743,2 m³/año. Como se ha fijado un periodo de regeneración de 20 años, de un tramo único se deberán extraer un total de unos 34864 m³ (ya sean procedentes de cortas en cantones de calidad I, calidad II o de una combinación de las dos calidades), de manera que así los sucesivos tramos que se pudieran ir formando en futuras planificaciones en el monte puedan ser equiproductivos.

Como nos permiten una desviación de hasta el $\pm 15\%$ sobre la equiproductividad, según se especifica en el enunciado, la producción procedente del tramo único en el monte ordenado podrá oscilar entre 29634 m³ ($0,85 \cdot 34864$ m³) y 40094 m³ ($1,15 \cdot 34864$ m³).

En el monte no existen cantones con masas dañadas y que sea urgente regenerar y poner en producción, por lo que el orden de prioridades para incorporar los diferentes cantones en el tramo único vendría dado en principio por el criterio de edades decrecientes. No obstante, el orden de prioridades debe tener en cuenta la edad de cada cantón en relación a la edad del turno fijado para cada uno de ellos (80 años para la calidad I y 100 años para la calidad II), incorporándose primero al tramo aquellos cantones cuya edad exceda en mayor medida al turno fijado para cada uno de ellos, seguidos por aquellos que presentando edades por debajo de su turno estén más próximos a él, procurando minimizar así los sacrificios de cortabilidad. Por tanto, el orden de prioridades queda como sigue (se indica entre paréntesis la diferencia entre la edad actual y el turno fijado): cantón 11 (+15), cantón 1 (+7), cantón 7 (+3), cantón 3 (-12), cantón 13 (-15), cantón 9 (-17), cantón 2 (-21), cantón 4 (-28), cantón 12 (-34), cantón 10 (-38), cantón 8 (-67), cantón 6 (-71), cantón 5 (-88).

Procedemos entonces a formar el tramo único conforme a estos criterios, según se muestra en la tabla siguiente. La edad media de corta de las masas de cada uno de los cantones se obtiene sumando a la edad actual que da el inventario la mitad del periodo de regeneración ($p/2$, 10 años en este caso), ya que aunque el aclareo sucesivo irá extrayendo el arbolado en diferentes intervenciones a lo largo de ese periodo de regeneración (y por tanto diferentes porciones de la masa se cortarán en años distintos), suponemos que $p/2$ es representativo del año medio de corta de los pies en el tramo. La producción del cantón en el monte ordenado es el resultado de multiplicar la cabida del cantón por las existencias en pie a la edad del turno que indica la tabla

de producción (masa principal antes de clara) que se obtendrán en las cortas finales conforme al tipo de selvicultura que se va a aplicar en la ordenación (464,7 m³/ha y 387,6 m³/ha para las calidades I y II respectivamente).

Tramo único. A cortar entre el año actual y el año +20. Formación definitiva					
Cantón	Cabida (ha)	Edad media de corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Producción del cantón en el monte ordenado (m³)	Producción acumulada en el tramo en el monte ordenado (m³)
11	25	105	+25	11617,5	11617,5
1	18	97	+17	8364,6	19982,1
7	31	113	+13	12015,6	31997,7
3	16	78	-2	7435,2	39432,9

Al tramo único se incorporan en primer lugar los cantones 11, 1 y 7 (ver tabla anterior), que ya presentan actualmente edades por encima del turno fijado para cada uno de ellos. Con estos tres cantones se obtendría una producción acumulada de unos 31998 m³ procedentes de las cortas de regeneración, que ya queda dentro de los márgenes marcados anteriormente (entre 29634 m³ y 40094 m³). Si incorporamos también en el tramo único el cantón 3 (el siguiente en el orden de prioridad establecido), la producción acumulada ascendería a unos 39433 m³, también dentro de esos márgenes, por lo que ambas opciones serían válidas desde este punto de vista. De incorporar el cantón 3, éste se cortaría con una edad media muy próxima a la del turno fijado (como se indica en la tabla anterior), mientras que de dejarlo fuera del tramo, se cortaría, en el supuesto de que se incorporara en un nuevo tramo único a formar en una futura planificación en el monte una vez concluido el periodo de 20 años aquí contemplado, con una edad muy superior, de 98 años de media, 18 por encima del turno de 80 años establecido para los cantones de calidad I. Por tanto, nos decantamos por la primera opción y el tramo único queda finalmente formado por los cantones 11, 1, 7 y 3 (tres de ellos de calidad I y uno de calidad II).

La misma formación del tramo único se obtendría si, en vez de trabajar con la producción en el monte ordenado, trabajáramos con la superficie equivalente en calidad media, realizando algunos cálculos adicionales respecto a la versión anterior. En tal caso, y suponiendo que la calidad de la estación fuera la misma en todo el monte, la cabida del tramo único (S_{TR}) en una ordenación en la que se hubieran fijado diferentes turnos para distintas zonas del monte vendría dada por la siguiente expresión general:

$$S_{TR} = \left(\frac{S_1}{T_1} + \frac{S_2}{T_2} + \dots + \frac{S_n}{T_n} \right) \cdot P$$

Que en este caso concreto, en el que sólo hay dos zonas del monte (calidades) con turnos diferentes, quedaría como:

$$S_{TR} = \left(\frac{S_1}{T_1} + \frac{S_2}{T_2} \right) \cdot P$$

Donde S_1 es la superficie de calidad I (192 ha), a la que le corresponde un turno $T_1 = 80$ años, S_2 la superficie de calidad II (162 ha), a la que le corresponde un turno de $T_2 = 100$ años, y P el periodo de regeneración (20 años en este caso), resultando entonces una superficie del tramo $S_{TR} = 80,4$ ha.

Como se permite una desviación de hasta el 15% sobre la equiproductividad, ello equivale a admitir para el tramo único una cabida de entre 68,3 ha ($0,85 \cdot 80,4$ ha) y 92,5 ha ($1,15 \cdot 80,4$ ha).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que en el monte, además de dos turnos, hay dos calidades diferentes, por lo que el tramo único a formar tendrá mayor o menor cabida dependiendo de qué calidad sean los cantones que lo compongan. Por tanto, deberemos trabajar no con la superficie real sino con la superficie equivalente en calidad media, de manera que esta última quede dentro del rango indicado de 68,3 a 92,5 ha.

Para ello, calculamos primero la producción a la edad del turno en la calidad media del monte (P_{med}), teniendo en cuenta que está formado por 192 ha de calidad I y 162 ha de calidad II y conociendo las existencias de la masa en pie en el monte ordenado para cada una de las calidades a la edad del turno correspondiente que nos da de la tabla de producción (masas principal antes de clara, dado que deseamos considerar sólo las cortas finales para la equiproductividad):

$$P_{med} = (192 \text{ ha} \cdot 464,7 \text{ m}^3/\text{ha} + 162 \text{ ha} \cdot 387,6 \text{ m}^3/\text{ha})/354 \text{ ha}$$

$$P_{med} = 429,4 \text{ m}^3/\text{ha}$$

De donde podemos obtener fácilmente los factores de equivalencia de la superficie de cada una de las calidades a la calidad media del monte:

$$1 \text{ ha de calidad I} = 464,7/429,4 = 1,082 \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de calidad II} = 387,6/429,4 = 0,903 \text{ ha de calidad media}$$

Y procedemos entonces formar el tramo único conforme a este método de cálculo, como se muestra en la tabla siguiente, obteniéndose el mismo resultado que en el caso anterior. El conjunto de cantones 11, 1 y 7 tiene una superficie equivalente en calidad media de 74,6 ha, dentro del rango admitido para el tramo único (de 68,3 a 92,5 ha). El conjunto de los cantones 11, 1, 7 y 3 tiene una superficie equivalente en calidad media de 91,9 ha, también dentro de ese rango de superficies. Nos decantamos por incluir también el cantón 3 en el tramo único por los mismos motivos indicados anteriormente, con lo que el tramo único queda formado por los cantones 11, 1, 7 y 3.

Tramo único. A cortar entre el año actual y el año +20. Formación definitiva					
Cantón	Superficie (ha)	Edad media de corta (años)	Sacrificio de cortabilidad (años)	Superficie equivalente en calidad media del cantón (ha)	Superficie equivalente en calidad media acumulada en el tramo (ha)
11	25	105	+25	27,1	27,1
1	18	97	+17	19,5	46,6
7	31	113	+13	28,0	74,6
3	16	78	-2	17,3	91,9

A modo de comprobación adicional, nótese que un tramo único con 91,9 hectáreas equivalentes en calidad media tendrá una producción en el monte ordenado de unos 39462 m³ (91,9 ha · 429,4 m³/ha), valor igual al obtenido en el procedimiento de cálculo anterior (39433 m³), salvo pequeñas diferencias debidas a los redondeos realizados en los cálculos correspondientes.

El resto de los cantones del monte (cantones 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12 y 13) se repartirían entre el grupo de preparación y el grupo de mejora, que se formarían de acuerdo con los criterios habituales y las características concretas de este monte y ordenación, de manera similar a como se realizó ya en el primer apartado del ejercicio anterior.

2.

La posibilidad total (P_{tot}) en el monte actual será la suma de la posibilidad de las cortas de regeneración (P_{reg}) en el tramo único y de la posibilidad procedente de las cortas de mejora (P_{mej}) en el grupo de preparación y grupo de mejora:

$$P_{tot} = P_{reg} + P_{mej}$$

Calculamos la posibilidad de regeneración (P_{reg}) mediante la fórmula de la masa cortable aplicada al tramo único:

$$P_{reg} = \frac{V_{TR}}{p} + \frac{C_{TR}}{2}$$

donde V_{TR} y C_{TR} son respectivamente el volumen maderable y el crecimiento corriente del tramo único.

Como el tramo único ha quedado formado por los cantones 11, 1, 7 y 3, resulta que $V_{TR} = 33450 \text{ m}^3$ ($12000 \text{ m}^3 + 8100 \text{ m}^3 + 7750 \text{ m}^3 + 5600 \text{ m}^3$) y $C_{TR} = 461,1 \text{ m}^3/\text{año}$ ($125,0 \text{ m}^3/\text{año} + 91,8 \text{ m}^3/\text{año} + 114,7 \text{ m}^3/\text{año} + 129,6 \text{ m}^3/\text{año}$).

$$P_{reg} = \frac{33450}{20} + \frac{461,1}{2}$$

$$P_{reg} = 1903 \text{ m}^3/\text{año}$$

Esta posibilidad equivale a un total de 38060 m^3 durante el periodo de 20 años, similar aunque ligeramente por debajo de los 39433 m^3 estimados en el apartado anterior para las cortas finales en dichos cantones una vez que en el monte todas las cortas se realizaran sobre masas a la edad del turno y con la densidad y tipo de selvicultura adecuada a los objetivos de la gestión establecidos en la ordenación.

Calculamos la posibilidad total del monte mediante la fórmula de la masa cortable aplicada al conjunto del cuartel (que coincide con el monte en este caso), teniendo en cuenta que el turno a aplicar es diferente en cada una de las dos calidades:

$$P_{tot} = \frac{V_I}{T_I} + \frac{V_{II}}{T_{II}} + \frac{C_{CU}}{2}$$

donde V_I y V_{II} son respectivamente el volumen maderable en los cantones de calidad I y II, para los que se ha fijado un turno $T_I=80$ años y $T_{II}=100$ años, y C_{CU} es el crecimiento corriente de todo el cuartel.

A partir de los datos de la tabla del inventario que se proporciona en el enunciado obtenemos $V_I=60812 \text{ m}^3$, $V_{II}=32547 \text{ m}^3$, y $C_{CU}=1765,6 \text{ m}^3/\text{año}$, de donde:

$$P_{tot} = \frac{60812}{80} + \frac{32547}{100} + \frac{1765,6}{2}$$

$$P_{tot} = 1968 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por último, obtenemos la posibilidad de mejora como diferencia entre la posibilidad total y la posibilidad de regeneración, resultando:

$$P_{mej} = 1968 - 1903 = 65 \text{ m}^3/\text{año}$$

Este valor de la posibilidad de mejora equivale a un total de unos 1300 m³ extraídos (principalmente en claras y clareos) durante el periodo de 20 años y resulta muy bajo. Ello se debe en buena medida a que la fórmula de la masa cortable sólo se puede aplicar con exactitud para la estimación de la posibilidad total (y por tanto de la posibilidad de mejora que hemos derivado de la misma) cuando el monte ya esté perfectamente ordenado conforme a una estructura normal en la que todas las clases de edad ocupen la misma superficie (de manera que el crecimiento global del monte C_{cu} se pueda suponer constante en el monte a lo largo del tiempo) y en la que el tramo en el que se realizan las cortas de regeneración tenga un cabida exactamente igual a la cabida periódica (o su equivalente en calidad media) y contenga masas con una edad igual a la del turno fijado, siendo por tanto equiproductivo. Sin embargo, en este caso hemos formado un tramo que está compuesto por masas ya por encima de su turno y con una superficie o producción total superior a la que correspondería a la cabida periódica o equiproductividad (apurando casi al máximo la desviación del 15% contemplada en el enunciado), con el fin de evitar mayores sacrificios de cortabilidad en el último de los cantones incorporado al tramo único (cantón 3). Por tanto, en el caso actual no se reúnen las condiciones para poder aplicar con garantías y suficiente exactitud la fórmula de la masa cortable para la estimación de la posibilidad total y posibilidad de mejora (sí es suficientemente adecuada en cambio para la estimación de la posibilidad de regeneración). Si el tramo lo hubiéramos formado exactamente equiproductivo, sin acudir a ninguna desviación, debería haber tenido una producción de 34864 m³ (según se calculo en el primer apartado), menor que la de 39433 m³ del tramo finalmente formado, lo que equivale a una posibilidad de regeneración de 1743 m³/año durante el periodo de regeneración. Por tanto, siendo el valor de la posibilidad total el mismo calculado anteriormente (éste no se ve afectado por qué cantones se incluyen o no en el tramo único), la posibilidad de mejora hubiera resultado de 225 m³/año (1968 m³/año - 1743 m³/año), valor muy superior al de 65 m³/año obtenido anteriormente, y posiblemente más ajustado y próximo a las necesidades reales de claras y clareos en el monte, tal como se estimará en el apartado siguiente.

3.

Para estimar las intervenciones que se van a realizar fuera del tramo único en el periodo de 20 años y en definitiva calcular la posibilidad de mejora, compararemos en primer lugar para cada uno de los cantones de edad superior a 20 años el área basimétrica actual que da el inventario (AB) con el área basimétrica normal u objetivo que se desea dejar en pie tras la clara (AB_{obj}) según marca la tabla de producción para el tipo de selvicultura que se desea aplicar en la ordenación, de acuerdo con las especificaciones del enunciado. Para calcular AB_{obj} tomamos los valores correspondientes a la masa principal después de clara, e interpolamos de manera lineal los valores que en la tabla aparecen cada 10 años para obtener el valor estimado para la edad correspondiente a cada uno de los cantones, como se muestra en la tabla

siguiente. Así, por ejemplo para el cantón 9, que tiene una edad de 63 años y es de calidad I, tomamos de la tabla de producción de esa calidad I los valores del área basimétrica de la masa principal después de clara a las edades de 60 y 70 años (que son respectivamente 39,8 m²/ha y 41,7 m²/ha), y estimamos el valor de AB_{obj} para ese cantón finalmente como 40,37 m²/ha ($39,8 \text{ m}^2/\text{ha} + (3/10) \cdot (41,7 \text{ m}^2/\text{ha} - 39,8 \text{ m}^2/\text{ha})$). Comparamos entonces los valores de AB y los de AB_{obj} obtenidos para cada cantón, y en el caso de que AB_{obj} sea al menos un 10% menor que la AB actual, realizaremos la clara correspondiente con la intensidad requerida para obtener un área basimétrica en la masa intervenida igual a esa AB_{obj} . Este es el caso por ejemplo del cantón 9, en el que AB_{obj} es un 15,9% inferior a AB ($100 \cdot (48-40,37)/48$), como se muestra en la tabla siguiente.

Cantón	Edad (años)	AB (m ² /ha)	AB_{obj} (m ² /ha)	Diferencia entre AB y AB_{obj} (%)	Realizar claras
2	79	45	$37,68 = 36,6 + (9/10) \cdot (37,8-36,6)$	+ 16,3	Sí
4	52	34	$37,48 = 36,9 + (2/10) \cdot (39,8-36,9)$	- 10,2	No
8	33	27	$24,99 = 23,4 + (3/10) \cdot (28,7-23,4)$	+ 7,4	No
9	63	48	$40,37 = 39,8 + (3/10) \cdot (41,7-39,8)$	+ 15,9	Sí
10	62	34	$35,24 = 34,9 + (2/10) \cdot (36,6-34,9)$	- 3,6	No
12	46	43	$35,26 = 32,8 + (6/10) \cdot (36,9-32,8)$	+ 18,0	Sí
13	85	41	$38,35 = 37,8 + (5/10) \cdot (38,9-37,8)$	+ 6,5	No

Por tanto, es en los cantones 2, 9 y 12 en los que corresponde realizar las claras en el periodo de 20 años que se está planificando. Procedemos a estimar las extracciones que corresponden en cada uno de ellos, tal como se muestra en los cálculos de la siguiente tabla. El porcentaje de la masa a extraer en términos de área basimétrica es precisamente la diferencia porcentual entre AB y AB_{obj} obtenida en la tabla anterior. Sin embargo, hay que tener en cuenta que un determinado porcentaje de extracción en términos de área basimétrica no equivale directamente al mismo valor en términos del porcentaje del volumen de la masa a extraer, que es lo que necesitamos finalmente para estimar la posibilidad de mejora. Podemos observar en las claras que

se indican en la tabla de producción para las diferentes edades que los porcentajes de extracción en términos del área basimétrica son algo mayores que los correspondientes porcentajes del volumen extraído, debido a que en estas claras, a igualdad de sección normal, se tiende a extraer árboles de menor altura, lo cual debemos tener en cuenta para obtener resultados suficientemente exactos en los siguientes cálculos. Por ejemplo, en la clara que indica la tabla de producción para la calidad I y una edad de 50 años, el porcentaje de área basimétrica extraída es del 8,663% (3,5 m²/ha de la masa extraída respecto a 40,4 m²/ha de la masa principal antes de clara) mientras que el porcentaje del volumen extraído es del 7,757% (23,2 m³/ha de la masa extraída respecto a 299,1 m³/ha de la masa principal antes de clara). Por ello, y para obtener resultados más exactos, tomamos como referencia el cociente entre el porcentaje del volumen extraído y el porcentaje del área basimétrica extraída según los datos de la tabla de producción para la calidad y edad correspondiente a cada uno de los cantones, siendo suficiente con manejar los valores de la edad de la tabla de producción más próxima a la edad actual de cada uno de los cantones, como se muestra en la tabla siguiente. También se podrían interpolar los valores de dichos cocientes correspondientes a la edad exacta del cantón a partir de los valores correspondientes a las dos edades más próximas disponibles en la tabla de producción, como se hizo anteriormente para estimar AB_{obj} , pero en este caso las diferencias en los valores de dichos cocientes entre dos edades consecutivas son tan pequeñas que los resultados que se obtienen son prácticamente idénticos, optándose por tanto por el procedimiento simplificado. Así por ejemplo, para el cantón 12, con una edad de 46 años y calidad I, tomamos como referencia los valores correspondientes a la edad de 50 años, donde tenemos que unas extracciones del 8,663% en área basimétrica corresponden a unas extracciones del 7,757% en volumen (según el cálculo más arriba indicado), lo que resulta en un cociente de 0,895 (7,757/8,663), como se muestra en la tabla siguiente con más precisión.

Cantón	Extracciones AB (%)	Cociente extracciones V (%) y AB (%)	Extracciones V (%)	Volumen extraído (m ³)
2	16,3	$(15,0/334,5)/(2,0/39,8) = 0,89238$	$16,3 \cdot 0,89238 = 14,5$	$(14,5/100) \cdot 8750 = 1269$
9	15,9	$(24,5/362,0)/(3,1/42,9) = 0,93660$	$15,9 \cdot 0,93660 = 14,9$	$(14,9/100) \cdot 13032 = 1942$
12	18,0	$(23,2/299,1)/(3,5/40,4) = 0,89533$	$18,0 \cdot 0,89533 = 16,1$	$(16,1/100) \cdot 9600 = 1546$
			Total claras (m ³)	4757

Lo que supone un total de 4757 m³ extraídos en las claras durante el periodo de 20 años que se está planificando.

Ahora consideramos los volúmenes extraídos mediante clareos en los cantones que presentan menos de 20 años de edad (cantones 5 y 6), en los que se extrae simplemente el 10% del volumen en el periodo de 20 años, lo que resulta en unas extracciones de 120 m³ ($0,1 \cdot 1200 \text{ m}^3$) en el cantón 5 y de 192 m³ ($0,1 \cdot 1920 \text{ m}^3$) en el cantón 6, y un total de 312 m³.

Sumando las extracciones procedentes de las claras realizadas en los cantones 2, 9 y 12 (4757 m³) y las procedentes de los clareos en los cantones 5 y 6 (312 m³), tenemos una posibilidad de mejora total de 5069 m³, que equivalen a 253,4 m³/año durante el periodo de 20 años considerado.

Nótese que este valor de la posibilidad de mejora es mucho más realista y ajustado a las necesidades selvícolas de las masas del monte que el obtenido en el apartado anterior mediante la aplicación de la fórmula de la masa cortable (65 m³/año). Efectivamente, como vemos y ya se anticipaba en el apartado anterior, el valor de la posibilidad de mejora que se habría obtenido mediante la fórmula de la masa cortable en caso de haber formado un tramo único exactamente equiproductivo (225 m³/año), se aproxima mucho más al obtenido de una manera más afinada en este apartado (253,4 m³/año).

4.

En este caso suponemos que nos encontramos con un monte ya ordenado conforme al modelo normal en el que todas las clases de edad ocupan la misma superficie (o la misma superficie equivalente en calidad media, en el caso de calidad heterogénea) y en el que todas las masas se cortan a una edad exactamente igual al turno fijado. En tal caso, tendríamos que las cortas de regeneración en los cantones que formaran parte del tramo único se harían sobre masas con una edad media exactamente igual al turno (80 años en el caso de la calidad I, y 100 años en el caso de la calidad II), y que el tramo único produciría exactamente los 34864 m³ o 1743,2 m³/año que corresponden a la equiproductividad, según se calculó en el primer apartado a partir de los volúmenes de la masa principal antes de clara que proporcionan las tablas de producción para cada uno de los turnos y calidades.

La posibilidad de regeneración sería entonces de 1743 m³/año, algo inferior a la de 1903 m³/año calculada en el primer apartado, debido a que en aquel caso el tramo único se formó con una superficie mayor de la que correspondería a la equiproductividad (aprovechando la desviación del 15% permitida) y contenía varios cantones con edades superiores al turno.

En cuanto a la posibilidad total, sabemos que en el monte ordenado se cortan una vez todas las masas del monte en un periodo de tiempo igual al turno fijado (y, como decíamos, todas ellas se cortan con una edad igual al turno). Sabemos por la tabla de producción que el volumen de la masa total a la edad del turno (volumen que incluye tanto las extracciones procedentes de las cortas finales como las de las claras y clareos en edades anteriores al turno) es de 569,7 m³/ha para la calidad I (80 años) y de 477,3 m³/ha para la calidad II (100 años). Para la calidad I, ello equivale a un total de 109382 m³ (569,7 m³/ha · 192 ha) y de 1367 m³/año. Para la calidad II, ello equivale a un total de 77322 m³ (477,3 m³/ha · 162 ha) y de 773 m³/año. Sumando la posibilidad procedente de cada una de las dos calidades (en m³/año), tenemos una posibilidad total para el conjunto del monte ordenado de 2140 m³/año.

La posibilidad de mejora en el monte ordenado, obtenida como diferencia entre la posibilidad total y la de regeneración calculadas anteriormente, resulta de 397 m³/año (2140 m³/año – 1743 m³/año). Esta posibilidad es claramente superior a la estimada en el apartado anterior para el monte actual (253,4 m³/año), debido a varios motivos. En primer lugar, el monte en su estado actual presenta algunas deficiencias en la densidad de las masas, como indica el enunciado y se refleja también en el hecho de que en muchos de los cantones incorporados a los grupos de preparación y mejora no está previsto realizar claras en el periodo de 20 años planificado (ver apartado anterior), en unos cantones (cantones 4 y 10) debido a que presentan un área basimétrica inferior a las que prevé la tabla de producción para la masa principal después de clara, y en otros porque la diferencia entre el área basimétrica actual y el objetivo se consideraba demasiado pequeña (inferior al 10%) para que mereciera la pena realizar la intervención (cantones 8 y 13). De no haber tenido en cuenta esa limitación del 10%, la posibilidad de mejora en el monte actual habría resultado algo mayor que la estimada en el apartado anterior. Por otro lado, en el monte actual se ha formado un tramo único mayor de lo que correspondería a la equiproductividad. De haberse formado el tramo único exactamente equiproductivo, parte del cantón 3 (último cantón incorporado al tramo único) habría pasado al grupo de preparación, y las claras correspondientes a esa parte del cantón 3 habrían incrementado el valor de la posibilidad de mejora en el periodo de 20 años actual, acercándolo al valor obtenido en este apartado para el monte ordenado.

EJERCICIO 5. Se pretende ordenar un monte de 464 hectáreas y calidad de la estación homogénea poblado por *Pinus sylvestris* y situado en el Pirineo leridano mediante el método del tramo móvil aplicando cortas por aclareo sucesivo.

Los cantones 1 a 7 presentan una exposición norte predominante con una regeneración generalmente más abundante y vigorosa, mientras que en el resto de los cantones tiende a haber más problemas y retrasos en la regeneración natural. Se desea respetar y aprovechar al máximo la regeneración natural, y en segundo lugar mantener la regularidad de las masas dentro de lo que permita la progresión del regenerado.

En el monte ya se han practicado cortas de regeneración en años pasados en algunos cantones, aunque las actuaciones se llevaron a cabo de manera aislada y sin contar con una ordenación del conjunto del monte, mientras que otras zonas se han visto afectada por aludes, como se indica en la tabla siguiente.

Se fija en la ordenación un turno de 120 años, edad a la que se estiman unas existencias de la masa en pie de unos 420 m³/ha.

De acuerdo con los objetivos establecidos en la ordenación en todos los cantones se debe dejar un 15% del volumen de la masa adulta sin cortar en forma de pequeños grupos o pies dispersos por el monte para favorecer y potenciar la biodiversidad. Las cortas de aclareo sucesivo se realizarán en tres fases: cortas preparatorias, en las que se extraerá el 20% del volumen de la masa y que se realizarán en el año actual, cortas diseminatorias, en las que se extraerá el 50% del volumen de la masa, y cortas finales, en las que se extraerá el remanente que corresponda de acuerdo con las consideraciones anteriores.

Se acaba de realizar un inventario que proporciona la siguiente información numérica acerca de cada uno de los cantones del monte, así como una breve descripción de su estado:

Cantón	Edad media masa a regenerar (años)	Edad media masa regenerada (años)	Cabida (ha)	Existencias maderables (m ³ /ha)	Crecimiento corriente masa a regenerar (m ³ /ha-año)
1	89	--	43	350	4,5
2	130	25	52	38	1,3
3	37	--	42	170	6,0
4	--	--	19	--	--
5	118	--	21	398	3,4
6	81	15	28	105	1,3

7	120	20	44	80	1,0
8	45	--	28	182	6,3
9	65	--	21	276	5,4
10	98	10	40	165	1,9
11	95	--	36	376	3,7
12	123	--	24	421	3,0
13	53	--	33	224	6,3
14	35	--	33	92	4,8

Cantón	Descripción
1	Fustal en buen estado y espesura completa
2	Masa joven ya completamente establecida con algunos pies adultos dispersos dejados en el monte para favorecer la biodiversidad
3	Latizal sin daños, espesura completa y densidad excesiva
4	Cantón no arbolado que se desea repoblar y poner en producción de manera inmediata
5	Fustal en buen estado y espesura completa
6	Fustal con un 75% de claros tras derribos por aludes y abundante madera muerta tumbada y en pie. Los claros se han cubierto en su totalidad por una masa joven procedente de regeneración natural
7	Masa joven ya completamente establecida con algunos grupos de pies adultos dejados en el monte para favorecer la biodiversidad
8	Latizal sin daños, espesura completa y densidad excesiva
9	Masa en buen estado y espesura completa
10	Fustal con un 50% de claros tras derribos por aludes y abundante madera muerta tumbada y en pie. La regeneración natural ha sido algo escasa hasta el momento y los claros se han cubierto sólo parcialmente
11	Fustal en buen estado y espesura completa
12	Fustal sin daños y espesura completa
13	Masa en buen estado y espesura completa
14	Latizal en buen estado y espesura completa

Se pide:

1. Formar el tramo móvil, el grupo de preparación y el grupo de mejora, considerando un periodo de aplicación de 20 años.
2. Estimar la posibilidad de regeneración en el tramo móvil formado, contemplando distintos escenarios en cuanto al ritmo de progresión de la regeneración y las cortas de aclareo sucesivo.

SOLUCIÓN

1.

Nos encontramos en un monte con calidad de la estación homogénea, en el que la cabida periódica (a la que correspondería la equiproductividad en el monte ordenado) vendría dada por la siguiente fórmula, en función de la cabida total del monte (S_{TOT}), el turno (T) y el periodo de aplicación (p) fijados:

$$\frac{S_{TOT}}{T/p} = \frac{464}{120/20} = 77,3 \text{ ha}$$

Ahora bien, en este caso se trata de una ordenación mediante el método del tramo móvil, y no se tiene la certeza de que en el periodo de aplicación se puedan extraer todas las existencias de los cantones incorporados al tramo, debido a las dificultades o incertidumbres en la regeneración natural. En este método se evita forzar el ritmo de las cortas conforme a pautas rígidas predefinidas, y las cortas de aclareo sucesivo se adaptan a la progresión de la regeneración natural en el monte, evitando en la medida de lo posible acudir a la regeneración artificial. Por ello, es posible que sólo una parte de las cortas de aclareo sucesivo en los cantones incorporados al tramo móvil se puedan realizar realmente en los próximos 20 años, debiendo esperar el resto a futuros periodos de aplicación una vez que ya se haya producido una adecuada progresión y establecimiento natural del regenerado. Por ello, para compensar la menor posibilidad que se prevé extraer en los cantones incorporados al tramo móvil, éste se formará con una cabida (S_{TM}) superior a la cabida periódica conforme a la siguiente fórmula:

$$S_{TM} = k \cdot \frac{S_{TOT}}{T/p} = k \cdot \frac{464}{120/20} = k \cdot 77,3 \text{ ha}$$

donde k es una constante mayor que uno y que será como máximo igual a dos (lo que daría lugar a un tramo de 154,6 ha). La superficie del tramo formado (S_{TM}) no podrá superar el 40% de la cabida total del monte, lo que en este caso corresponde a 185,6 ha ($0,4 \cdot 464$ ha). En resumen, el tramo móvil tendrá en este caso una cabida superior a 77,3 ha y que no supere las 154,6 ha.

Por otro lado, si atendemos a la producción teórica de un tramo bajo el supuesto de equiproductividad en el monte ordenado, tenemos que un tramo produciría un total de 32480 m³, resultado de multiplicar las 464 ha del conjunto del monte por los 420 m³/ha de existencias de la masa en pie a la edad del turno, y dividirlo entre los seis tramos equiproductivos que se podrían formar teóricamente en el monte para un turno de 120 años y un periodo de aplicación de 20 años. Este valor debe resultar a su vez igual al producto de 77,3 ha (cabida periódica) por los 420 m³/ha, salvo pequeñas diferencias causadas por el redondeo en el valor de la cabida periódica. Como en esta ordenación se contempla dejar el 15% de la masa adulta sin cortar en el monte para favorecer y potenciar la biodiversidad, debemos reducir la producción de un tramo equiproductivo en esa proporción, resultando una producción final de 27608 m³ ($0,85 \cdot 32480$ m³). Este valor no será determinante para la formación del tramo pero sí interesante como referencia complementaria a la hora de decidir sobre la incorporación de algún cantón concreto, siempre dentro de los valores aceptables para la cabida del tramo móvil.

Pasamos entonces a formar el tramo móvil. En primer lugar hay que tener en cuenta que los cantones en los que la regeneración ya está completamente conseguida (cantones 2 y 7, donde se han dejado algunos grupos de pies o pies individuales dispersos por el monte por su capacidad de acoger y favorecer la biodiversidad), no formarán parte del tramo móvil sino del grupo de mejora. Probablemente estos pies adultos remanentes se mantendrán sin cortar indefinidamente para respetar los procesos naturales de decaimiento, pudrición y descomposición, pero incluso en el caso de que algunos de ellos se extrajeran en un futuro, se computarían ya dentro de la posibilidad de mejora.

En cuanto al resto de los cantones, la primera prioridad será poner en producción aquellos cantones que actualmente no presentan ningún crecimiento, bien por contener masas dañadas o bien por corresponder a zonas desarboladas que se desea repoblar. Éste es el caso únicamente del cantón 4. Este cantón, aunque no aporta existencias, se incorpora al tramo móvil y formará parte de la primera clase de edad junto con el resto de masas de regenerado que resulten tras la aplicación de las cortas de aclareo sucesivo en el resto de los cantones que se incorporen al tramo móvil.

Tras ello, debemos dar prioridad a los cantones que tengan ya la regeneración avanzada o iniciada (pero todavía no completada en toda su superficie), ya sea por cortas realizadas en años anteriores o por causas naturales que hayan propiciado la sustitu-

ción de la masa adulta por regenerado. Dado que, como indica el enunciado, se desea mantener la regularidad de las masas (dentro de los límites que marque la progresión natural de la regeneración, que se desea respetar al máximo), en aquellos cantones en los que ya hay claros cubiertos por regenerado es deseable iniciar cuanto antes las cortas en las zonas no aclaradas para que la regeneración subsiguiente presente una edad lo más próxima posible a la del regenerado ya existente. Tal es el caso de los cantones 6 y 10, afectados por aludes en años anteriores. Como en estos cantones ya existe una gran cantidad de madera muerta como consecuencia de dichos aludes, no consideramos necesario dejar adicionalmente en el monte un 15% del volumen de la masa que queda todavía en pie. La edad media de corta que figura en la tabla siguiente para cada uno de los cantones es un valor mínimo que correspondería al caso más favorable en que toda la masa se extrajera durante el periodo de aplicación, y se obtiene sumando a la edad actual que da el inventario la mitad del periodo de aplicación ($p/2$, 10 años en este caso). Dicha edad de corta se incluye en la tabla siguiente sólo a efectos indicativos, dado que en este caso otros criterios como los relativos a la regeneración en el cantón tendrán más prioridad que la mayor o menor proximidad a la edad del turno, como ha ocurrido por ejemplo para los cantones 6 y 10. La producción máxima hace referencia al volumen que se podría extraer en dicho caso más favorable en el que todas las cortas de aclareo sucesivo se pudieran completar en todo el cantón durante el periodo de aplicación, y se obtiene como la suma de las existencias maderables del cantón (en m^3/ha) y el producto de su crecimiento corriente (en m^3/ha -año) por los diez años correspondientes a la mitad del periodo de aplicación (suponiendo que $p/2$ equivale al año medio de corta del arbolado en el tramo), todo ello multiplicado por la cabida del cantón y por 0,85 (para tener en cuenta el 15% de la masa adulta que se deja en el monte para favorecer la biodiversidad) en aquellos cantones donde corresponda (todos menos los cantones 6 y 10), con lo que se obtienen los resultados que se muestran en la tabla siguiente.

Tramo móvil. Formación provisional					
Cantón	Edad media de corta (años)	Cabida (ha)	Cabida acumulada en el tramo (ha)	Producción máxima en el periodo de aplicación (m^3)	
				En el cantón	Acumulada en el tramo
4	--	19	19	0	0
6	91	28	47	$28 \cdot (105+10 \cdot 1,3) = 3304$	3304
10	108	40	87	$40 \cdot (165+10 \cdot 1,9) = 7360$	10664

Con los cantones que hemos incorporado hasta el momento (4, 6 y 10) tenemos una cabida total de 87 ha (19 ha + 28 ha + 40 ha), por lo que estamos ya por encima

del mínimo de 77,3 hectáreas establecido, pero con todavía bastante margen para incorporar más cantones al tramo en caso de que resulte adecuado (hasta un máximo de 154,6 ha). Por otro lado, hay que tener en cuenta que el cantón 4 no aporta ninguna producción en el periodo de aplicación y que contando con los cantones 6 y 10 tenemos que la producción total ascendería como máximo a 10664 m³ (ver tabla anterior), muy por debajo del valor teórico correspondiente a la equiproductividad calculado anteriormente (27608 m³). Por tanto, hasta el momento el tramo móvil es deficitario también en cuanto a la producción que podría llegar a obtenerse durante el periodo de aplicación.

Analizamos entonces la posibilidad de incorporar algún cantón adicional al tramo móvil, aplicando ahora el criterio decreciente de edades (prioridad para los cantones con edades que superen en mayor medida al turno fijado o que, estando por debajo de él, estén más próximas al mismo), ya que todos los cantones que restan presentan masas en espesura completa en las que no hay signos de regeneración. El siguiente cantón a incorporar sería el cantón 12, que se cortaría con una edad superior al turno fijado, y con el que tendríamos una cabida total del tramo de 111 ha (por debajo del máximo de 154,6 ha) y una producción máxima acumulada de 19864 m³ (también por debajo de 27608 m³), como se muestra en la tabla siguiente. Incorporamos también el cantón 5, al igual que el anterior con una edad de corta superior al turno fijado, con el que alcanzamos las 132 ha (todavía algo por debajo del máximo permitido de 154,6 ha) y una producción máxima de 27575 m³, esta última ya muy próxima a la que teóricamente correspondería a un tramo equiproductivo cuyas existencias se extrajeran completamente durante el periodo de 20 años (27608 m³). Atendiendo a la cabida del tramo, todavía habría margen para, si las circunstancias lo aconsejaran (por ejemplo, exceso de masas con edades por encima del turno), incorporar algún nuevo cantón al tramo móvil. El siguiente cantón que interesaría incorporar según el orden decreciente de edades sería el cantón 11, que aportaría 36 ha que llevarían el tramo móvil hasta las 168 ha, por encima del máximo de 154,6 ha establecido, y también la producción máxima en el periodo de aplicación por encima de los 27608 m³ que tenemos como referencia complementaria. Por otro lado, el cantón 11 presenta masas de 95 años de edad, que de incorporarse al tramo móvil se podrían cortar de media a los 105 años (15 años antes del turno fijado), con un sacrificio de cortabilidad considerable. Por tanto no se considera adecuado tampoco incorporar una parte del cantón 11 para acercarse al máximo de 154,6 ha, evitando así también la división de los cantones identificados en el monte. Así pues, se cierra la formación del tramo móvil de manera definitiva con los cantones 4, 6, 10, 12 y 5. De esta manera nos queda una cabida total del tramo móvil de 132 ha, que corresponde a un $k=1,71$, algo elevado pero no excesivo considerando los problemas de regeneración existentes en el monte, la presencia de varios cantones (12 y 5) con edades de corta por encima del turno, y que, en el mejor de los casos, obtendríamos en el periodo de aplicación una producción que no estaría por encima de la que correspondería teóricamente a

un monte ordenado conforme a la estructura de monte normal y a un tramo con la cabida periódica.

Tramo móvil. Formación definitiva					
Cantón	Edad media de corta (años)	Cabida (ha)	Cabida acumulada en el tramo (ha)	Producción máxima en periodo de aplicación (m³)	
				En el cantón	Acumulada en el tramo
4	--	19	19	0	0
6	91	28	47	$28 \cdot (105+10 \cdot 1,3) = 3304$	3304
10	108	40	87	$40 \cdot (165+10 \cdot 1,9) = 7360$	10664
12	133	24	111	$0,85 \cdot 24 \cdot (421+10 \cdot 3,0) = 9200$	19864
5	128	21	132	$0,85 \cdot 21 \cdot (398+10 \cdot 3,4) = 7711$	27575

Tras los cantones ya incorporados al tramo móvil (cantones 4, 6, 10, 12 y 5) y los que ya hemos indicado anteriormente que corresponde incluir en el grupo de mejora (cantones 2 y 7), nos quedan por distribuir entre los grupos de preparación y mejora los cantones 1, 3, 8, 9, 11, 13 y 14, que son a los que nos referiremos a continuación. En el grupo de preparación incorporaremos aquellos cantones que se prevé que puedan incluirse, en función de las características del monte y método de ordenación considerado, en una futura formación del tramo móvil a realizar dentro de 20 años, al final del periodo de aplicación actual. Todos los cantones que resta por considerar presentan masas en espesura completa en las que no hay daños ni signos de regeneración, por lo que el criterio a considerar será el de la edad de las masas que contienen. Los cantones que se incorporen a la siguiente formación del tramo móvil tendrán una edad media de corta (en el supuesto de que se extrajera completamente el arbolado durante el siguiente periodo de aplicación) 30 años superior a la edad actual (20 años hasta que se inicien las cortas de aclareo sucesivo en el siguiente tramo móvil más 10 años de la mitad del periodo de aplicación). Así, sólo los cantones 1 y 11 tendrán edades de corta suficientemente próximas al turno (129 y 125 años respectivamente) si se incorporaran al tramo móvil en el siguiente periodo de aplicación, quedando el resto de los cantones con edades de corta de 95 años (cantón 9) o inferiores, muy por debajo del turno de 120 años establecido. Por lo tanto, desde este punto de vista sólo sería adecuado incluir los cantones 1 y 11 en el grupo de preparación. La suma de las cabidas de los cantones 1 (43 ha) y 11 (36 ha) es de 79 ha, muy similar a la de la cabida periódica calculada anteriormente (77,3 ha). Éste es un valor que parece a priori adecuado, dado que el grupo de preparación no debe formarse con una cabida igual a la del tramo móvil actual (132 ha), al ser previsible que las cortas de aclareo

sucesivo no se puedan completar en todos los cantones incluidos en el tramo móvil actual. De incorporarse al siguiente tramo móvil a formar un grupo de preparación con una cabida de 132 ha, sumada ésta a la cabida de los cantones que permanecerán en el tramo móvil en la siguiente formación del mismo por no haberse completado satisfactoriamente su regeneración durante el periodo de aplicación actual, la cabida del nuevo tramo móvil superaría previsiblemente con mucho el máximo admisible (154,6 ha). Por otro lado, atendiendo a los cantones en los que es previsible que podamos completar la regeneración natural y las cortas de aclareo sucesivo en el periodo de aplicación actual (cantones 4, 5 y 6) por pertenecer a la zona del monte con una exposición y regeneración más favorable (según indica el enunciado), tenemos que reúnen una cabida de 68 ha que, presente en el tramo móvil actual, ya no permanecería en el mismo en el siguiente periodo de aplicación, y que quedaría en buena medida compensada por la cabida de los cantones 1 y 11 (79 ha), dando lugar en tal caso a un nuevo tramo móvil con una cabida total de 143 ha (132 ha actuales - 68 ha de los cantones que se prevé que salgan del tramo móvil al final del periodo de aplicación actual + 79 ha de los cantones del grupo de preparación), dentro de los rangos de superficie aceptables para el tramo móvil (por encima de 77,3 ha y no superior a 154,6 ha), y con un valor de $k=1,85$ igualmente dentro de los límites admisibles en este método de ordenación. Por todo ello, se decide formar el grupo de preparación únicamente con los cantones 1 y 11, quedando el grupo de mejora constituido por los cantones 2, 3, 7, 8, 9, 13 y 14 y un total de 253 ha.

2.

Con los cálculos realizados en el apartado anterior ya hemos calculado la posibilidad máxima de regeneración, que resulta de 27575 m³, como se mostró en la tabla anterior.

Podemos comprobar que el resultado es el mismo que obtenemos mediante la aplicación de la fórmula de la masa cortable al tramo móvil. La posibilidad de regeneración ($P_{reg,max}$, en m³/año) máxima (la que resultaría en el caso de que en todos los cantones se completasen las cortas de aclareo sucesivo en el periodo de aplicación) sería:

$$P_{reg,max} = \frac{V_{TR}}{p} + \frac{C_{TR}}{2}$$

Donde V_{TR} y C_{TR} son respectivamente el volumen (m³) y el crecimiento corriente (m³/año) de todos los cantones incorporados en el tramo móvil. No obstante, para los cantones 12 y 5 habrá que disminuir en un 15% esas cantidades conforme a la parte de la masa adulta que se dejará sin cortar en el monte para promover la biodiversidad, según se indicó en el apartado anterior, quedando entonces:

$$V_{TR} = 28 \text{ ha} \cdot 105 \text{ m}^3/\text{ha} + 40 \text{ ha} \cdot 165 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,85 \cdot 24 \text{ ha} \cdot 421 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,85 \cdot 21 \text{ ha} \cdot 398 \text{ m}^3/\text{ha} = 25233 \text{ m}^3$$

$$C_{TR} = 28 \text{ ha} \cdot 1,3 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 40 \text{ ha} \cdot 1,9 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 0,85 \cdot 24 \text{ ha} \cdot 3,0 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 0,85 \cdot 21 \text{ ha} \cdot 3,4 \text{ m}^3/\text{ha-año} = 234 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$P_{\text{reg,max}} = \frac{25233}{20} + \frac{234}{2} = 1379 \text{ m}^3/\text{año}$$

Lo que durante los 20 años del periodo de aplicación equivale a un total de 27580 m³, valor igual al obtenido en el apartado anterior (27575 m³) salvo pequeñas diferencias debidas a redondeos en los cálculos realizados.

Sin embargo, dadas las incertidumbres acerca de la regeneración de las masas, es improbable que toda esa posibilidad se pueda realmente extraer durante el periodo de aplicación. Podemos, por tanto, tratar de estimar un valor de la posibilidad mínima ($P_{\text{reg,min}}$, en m³/año), que consideremos que es seguro que se podrá obtener en el periodo de 20 años tratado. En el cantón 6, dado lo bien que ha respondido la regeneración en los claros producidos anteriormente, tenemos buenas garantías de que podemos extraer completamente la masa adulta restante en el periodo de aplicación, y sí que podríamos computar todo el volumen y crecimiento de este cantón 6 en esa posibilidad mínima. En el resto de los cantones, o bien hay constancia de dificultades en la regeneración (como es el caso del cantón 10) o no tenemos certeza sobre cómo puede evolucionar, con lo cual sólo podemos estar seguros de que se ejecutará la primera fase del aclareo sucesivo (cortas preparatorias), quedando las siguientes fases (diseminatorias y finales) a expensas de la respuesta del regenerado tras estas primeras cortas. Por tanto, para el resto de los cantones computamos sólo en la posibilidad mínima el 20% del volumen total que se prevé extraer en las cortas preparatorias y, dado que estas cortas se realizan en el año actual, mismo del inventario, no corresponde computar ningún crecimiento para estos cantones, quedando:

$$V_{TR} = 28 \text{ ha} \cdot 105 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,2 \cdot 40 \text{ ha} \cdot 165 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,2 \cdot 24 \text{ ha} \cdot 421 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,2 \cdot 21 \text{ ha} \cdot 398 \text{ m}^3/\text{ha} = 7952 \text{ m}^3$$

$$C_{TR} = 28 \text{ ha} \cdot 1,3 \text{ m}^3/\text{ha-año} = 36,4 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$P_{\text{reg,min}} = \frac{7952}{20} + \frac{36,4}{2} = 415,8 \text{ m}^3/\text{año}$$

Como se puede observar, existe un gran margen entre la posibilidad de regeneración mínima (415,8 m³/año) y máxima (1379 m³/año) que hemos estimado se puede obtener durante el periodo de aplicación, reflejo de la incertidumbre en la regeneración y

en el ritmo al que podrán progresar las cortas de aclareo sucesivo. En esta ordenación lo prioritario no es asegurar una posibilidad determinada sino aprovechar y respetar lo máximo posible la regeneración natural de las masas del monte. Podemos estimar una posibilidad intermedia (P_{reg}) entre estas dos considerando que las dificultades en la regeneración se concentran en los cantones 8 a 14 (según se indica en el enunciado), y prever entonces que en los cantones 5 y 6 sí se podrán completar las cortas de aclareo sucesivo en el periodo de aplicación (extrayendo en el caso del cantón 5 el 85% del volumen de la masa, y dejando el resto en pie para favorecer la biodiversidad), mientras que en los cantones 10 y 12 contaremos sólo con las extracciones procedentes de las cortas preparatorias (20% del volumen y sin computar crecimientos), quedando entonces:

$$V_{TR} = 28 \text{ ha} \cdot 105 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,2 \cdot 40 \text{ ha} \cdot 165 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,2 \cdot 24 \text{ ha} \cdot 421 \text{ m}^3/\text{ha} + 0,85 \cdot 21 \text{ ha} \cdot 398 \text{ m}^3/\text{ha} = 13385 \text{ m}^3$$

$$C_{TR} = 28 \text{ ha} \cdot 1,3 \text{ m}^3/\text{ha-año} + 0,85 \cdot 21 \text{ ha} \cdot 3,4 \text{ m}^3/\text{ha-año} = 97 \text{ m}^3/\text{año}$$

$$P_{reg} = \frac{13385}{20} + \frac{97}{2} = 718 \text{ m}^3/\text{año}$$

Valor intermedio de la posibilidad de regeneración que es probablemente más ajustado al que cabe esperar realmente en el periodo de aplicación, aunque tampoco exento de las incertidumbres relativas a la regeneración y su variabilidad espacial y temporal. Este valor equivale a un total de 14360 m³ durante el periodo de aplicación, muy inferior al que proporcionaría un tramo con la cabida periódica en un monte ya ordenado conforme a la estructura normal (27608 m³, según se calculó en el apartado anterior). Aunque se ha formado un tramo móvil con una cabida bastante mayor que la periódica, la incorporación al tramo móvil de cantones que no aportan existencias (cantón 4) o en los que ya sólo resta extraer una parte de la masa adulta (cantones 6 y 10) hace que la posibilidad en el periodo de aplicación resulte inferior a la que se podría obtener una vez que el monte estuviera ya ordenado.

Parte II. Ordenación de masas irregulares

EJERCICIO 6. Un monte de 360 hectáreas de *Pinus nigra* y algo de *Quercus faginea* situado en el Prepirineo catalán se desea gestionar como masa irregular mediante entresaca regularizada con cortas cada 3 años. Todo el monte se quiere ordenar de acuerdo a la misma curva objetivo que se indica en la tabla. El monte está compuesto por dos zonas: la zona A (190 ha) es una masa pura de *Pinus nigra* y la zona B (170 ha) es una mezcla de *Pinus nigra* y *Quercus faginea*. Las distribuciones diamétricas actuales para cada una de las zonas se incluyen en la tabla. Se supone, para simplicidad de los cálculos, que el tiempo de paso (12 años) y los volúmenes unitarios (m^3 /pie) son los mismos para las dos especies.

CD (cm)	Nº pies/ha				m^3 /pie
	Distribución objetivo	Distribución inicial Zona A	Distribución inicial Zona B		
			<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>	
10	340	340	145	256	0,04
15	226	89	113	18	0,08
20	133	76	28	67	0,17
25	58	48	30	10	0,30
30	25	8	25	5	0,50
35	11	3	1	5	0,75
40	5	2	2	3	1,00
45	2	3	0	1	1,50

Se pide:

1. Determinar la posibilidad del monte (en m^3 /ha y m^3 /ha-año) una vez alcanzada la curva objetivo.
2. Determinar la posibilidad (en m^3 /ha y m^3 /ha-año) en la zona A en la primera intervención (año actual), así como el año en el que se prevé alcanzar la distribución objetivo.
3. En la zona B (masa mixta) se desea llegar a una masa irregular con aproximadamente un 20% de pies de *Q. faginea* y un 80% de *P. nigra* en cada una de las clases diamétricas, y un número de pies totales en cada clase diamétrica igual a los de la curva objetivo de la tabla. Se pide proponer unas extracciones en la primera entresaca que permitan aproximarse convenientemente a ese objetivo de gestión.
4. Formar los tramos de entresaca.

SOLUCIÓN

1.

Aunque en este monte tenemos dos zonas diferenciadas, en ambas se desea alcanzar la misma distribución diamétrica objetivo (al margen de que en la zona A tengamos una masa pura y en la zona B una masa mixta). Por ello, y dado que suponemos además que los pies de las dos especies tienen el mismo volumen unitario (m^3/pie) para una determinada clase diamétrica, la posibilidad en el monte ordenado (una vez alcanzada dicha curva objetivo) será la misma en las dos zonas.

Para calcular la posibilidad del monte una vez alcanzada la distribución objetivo, basta saber que se deben dejar sin cortar en cada clase diamétrica exactamente el mismo número de pies que haya en la clase diamétrica inmediatamente superior de la distribución objetivo. Estos pies no extraídos son precisamente los que pasarán posteriormente a dicha clase diamétrica (CD) superior, manteniendo, salvo imprevistos, la distribución diamétrica en equilibrio a lo largo del tiempo. Por tanto, el número de pies a extraer en cada clase diamétrica será la diferencia entre el número de pies en esa clase diamétrica y el número de pies en la clase diamétrica inmediatamente superior de la distribución objetivo. De la clase diamétrica mayor extraeremos todos los pies suponiendo que, como especifica el enunciado, no queremos pies superiores a esas dimensiones en el monte (ya que de dejar alguno sin cortar, éstos habrán superado en la siguiente rotación el diámetro máximo fijado).

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m^3/pie	Volumen extraído (m^3/ha)
10	340	$340-226 = 114$	0,04	4,56
15	226	$226-133 = 93$	0,08	7,44
20	133	$133-58 = 75$	0,17	12,75
25	58	$58-25 = 33$	0,30	9,90
30	25	$25-11 = 14$	0,50	7,00
35	11	$11-5 = 6$	0,75	4,50
40	5	$5-2 = 3$	1,00	3,00
45	2	$2-0 = 2$	1,50	3,00
			Total	52,15

De donde tenemos una posibilidad de 52,15 m³/ha para las dos zonas del monte. Como en un mismo punto del monte haremos una corta de entresaca cada 12 años (rotación o tiempo de paso), dividiendo por este valor tenemos una posibilidad anual de 4,35 m³/ha-año.

2.

Para obtener la posibilidad en la zona A en la primera intervención calculamos los pies a extraer en cada clase diamétrica a partir de los datos de la distribución diamétrica actual en esa zona y los de la distribución diamétrica objetivo. Los pies a extraer serán la diferencia entre el número de pies en una determinada clase diamétrica de la distribución actual y el número de pies en la clase diamétrica inmediatamente superior de la distribución objetivo (que son los que queremos dejar sin cortar para que se incorporen a la siguiente clase diamétrica en la próxima rotación), salvo los casos en que haya déficit de pies en los que no se deberá cortar ningún pie (en estos casos dicha diferencia resultará negativa). Los pies que dejemos sin cortar en cada una de las clases diamétricas en el año actual serán precisamente los que se encontrarán en la clase diamétrica inmediatamente superior en la siguiente rotación (12 años después). Suponemos además que en la siguiente rotación se incorporan en la primera clase diamétrica el número de pies suficiente para cubrir lo previsto en la curva objetivo.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	Nº pies/ha actual	Extracciones año actual (nº pies/ha)	m ³ /pie	Volumen extraído m ³ /ha	Nº pies/ha año +12
10	340	340	340-226 = 114	0,04	4,56	340
15	226	89	0	0,08	0,00	226
20	133	76	76-58 = 18	0,17	3,06	89
25	58	48	48-25 = 23	0,30	6,90	58
30	25	8	0	0,50	0,00	25
35	11	3	0	0,75	0,00	8
40	5	2	2-2 = 0	1,00	0,00	3
45	2	3	3	1,50	4,50	2
Total					19,02	

Donde en las clases diamétricas de los 15, 30 y 35 cm no se extrae ningún pie por haber déficit (menos pies actuales en esas clases diamétricas que los que se desea tener en la clase diamétrica inmediatamente superior según lo marcado por la curva objetivo), mientras que en las clases diamétricas de los 10, 20, 25, 40 y 45 cm podemos

extraer el número de pies indicado en la tabla. Con ello se obtiene una posibilidad de 19,02 m³/ha, lo que, dividiendo por el tiempo de paso (12 años), equivale a 1,59 m³/ha-año, muy inferior a la obtenida en el apartado anterior debido a los déficit en las clases diamétricas mencionadas.

Observamos en la tabla que en la curva diamétrica prevista para el año +12 (tras realizar la primera intervención) el número de pies es diferente al objetivo en las clases diamétricas de los 20, 35 y 40 cm, precisamente las clases diamétricas inmediatamente superiores a aquellas en las que se encontró déficit de pies en la primera entresaca. Por tanto, en el año +12 no habremos alcanzado todavía la distribución objetivo. Realizamos una nueva entresaca en el año +12 y proyectamos la distribución esperada en el momento de la siguiente rotación (año +24), con el mismo procedimiento que en el caso anterior, obteniendo los resultados de la tabla siguiente.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	Nº pies/ha año +12	Extracciones año + 12 (nº pies/ha)	Nº pies/ha año +24
10	340	340	340-226 = 114	340
15	226	226	226-133 = 93	226
20	133	89	89-58 = 31	133
25	58	58	58-25 = 33	58
30	25	25	25-11 = 14	25
35	11	8	8-5 = 3	11
40	5	3	3-2 = 1	5
45	2	2	2	2

Donde vemos que en la entresaca en el año +12 no hay déficit en ninguna de las clases diamétricas y que, por tanto, en la siguiente entresaca a realizar en el año +24 (una vez que los pies que hemos dejado sin cortar en el año +12 se hayan incorporado a las clase diamétrica siguiente) ya tendremos en el monte una distribución diamétrica igual (salvo imprevistos) a la curva objetivo planteada en la ordenación.

3.

En este caso, las extracciones deben diferenciar la especie a la que afectan y acercarse convenientemente a los objetivos de gestión descritos, que tienen como curva objetivo la misma que en la zona A para los pies totales, pero con una determinada proporción de cada una de las especies en la masa mixta.

Para ello, debemos en primer lugar determinar en qué clases diamétricas hay exceso de pies totales (considerando conjuntamente los pies de *Pinus pinea* y *Quercus faginea*) y por tanto cuántos pies (sin diferenciar inicialmente entre las dos especies) se han de extraer en la entresaca en cada clase diamétrica.

CD (cm)	Nº pies/ha totales curva objetivo (<i>P. pinea</i> + <i>Q. faginea</i>)	Nº pies/ha totales zona B actual (<i>P. pinea</i> + <i>Q. faginea</i>)	Extracciones totales año actual (nº pies/ha)
10	340	401	401-226 = 175
15	226	131	0
20	133	95	95-58 = 37
25	58	40	40-25 = 15
30	25	30	30-11 = 19
35	11	6	6-5 = 1
40	5	5	5-2 = 3
45	2	1	1

Vemos entonces que en todas las clases diamétricas menos en la de los 15 cm se pueden extraer pies en la entresaca. Ahora determinaremos de qué especie (*Pinus pinea* o *Quercus faginea*) deben ser los pies que hay que extraer (sobre el total a cortar arriba calculado). Para aquellas clases diamétricas en las que acabamos de determinar que se pueden extraer pies en la entresaca, el número de pies totales a extraer los asignaremos a aquella especie para la que no haya déficit de pies al comparar el número de pies actual para esa especie en una determinada clase diamétrica con el número de pies para esa especie en la siguiente clase diamétrica de la distribución objetivo. El número de pies para cada una de las dos especies en la distribución objetivo los obtendremos simplemente aplicando las proporciones deseadas del 80% y 20% sobre el total de pies, para *Pinus nigra* y *Quercus faginea* respectivamente. En el caso de que no haya déficit para ninguna de las dos especies, se distribuirán las cortas de manera que tras las mismas, la distribución resultante se acerque lo más posible a las proporciones del 80% y 20% establecidas para la masa mixta. En la clase diamétrica de los 15 cm no se extraerá ningún pie de ninguna de las dos especies, aunque haya exceso de pies considerando una de las especies individualmente (*Pinus nigra*, como se observa en la tabla siguiente), ya que no hay tal exceso en el número de pies totales para las dos especies, como se calculó en la tabla anterior.

De ese modo, en las clases diamétricas de 10, 20, 35, 40 y 45 cm sólo hay exceso de pies para *Quercus faginea*, por lo que todos los pies a extraer serán de esa especie. En

estos casos, el número de pies a extraer de esta especie será exactamente el número de pies totales a extraer en el conjunto de la clase diamétrica según la tabla anterior, y no la diferencia entre el número de pies actual de *Quercus faginea* en una determinada clase diamétrica y el número de pies de esa misma especie en la clase diamétrica inmediatamente superior de la curva objetivo, aunque esta diferencia resulte mayor, según se explica más adelante.

En las clases diamétricas de los 25 y 30 cm, existe superávit de pies para las dos especies, y el número de pies a cortar de cada una de ellas será precisamente ese superávit (diferencia entre el número de pies actual de una especie en una determinada clase diamétrica y el número de pies de esa misma especie en la clase diamétrica inmediatamente superior de la curva objetivo), que sumado para las dos especies sí coincide, en este caso, con el número de pies totales a extraer para el conjunto de la masa determinado en la tabla anterior.

Nº pies/ha								
CD (cm)	Objetivo			Actual		Extracciones		
	Total	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>	Total	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>
10	340	272	68	145	256	175	0	175
15	226	181	45	113	18	0	0	0
20	133	106	27	28	67	37	0	37
25	58	46	12	30	10	15	10	5
30	25	20	5	25	5	19	16	3
35	11	9	2	1	5	1	0	1
40	5	4	1	2	3	3	0	3
45	2	2	0	0	1	1	0	1

Nótese que el procedimiento que acabamos de utilizar (trabajar primero con los pies totales, y luego distribuir las extracciones totales entre las dos especies) es el correcto y adecuado para estos fines. Si, por el contrario, trabajáramos desde el principio con las dos especies por separado (sin considerar el número de pies totales) habríamos obtenido los siguientes resultados.

N° pies/ha						
CD (cm)	Objetivo		Actual		Extracciones	
	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>	<i>Pinus nigra</i>	<i>Quercus faginea</i>
10	272	68	145	256	0	211
15	181	45	113	18	7	0
20	106	27	28	67	0	55
25	46	12	30	10	10	5
30	20	5	25	5	16	3
35	9	2	1	5	0	4
40	4	1	2	3	0	3
45	2	0	0	1	0	1

Obsérvese por ejemplo que con este segundo cálculo en la clase diamétrica 35 cm se extraerían cuatro de los cinco pies de *Quercus faginea*, en vez de uno solo que hemos extraído según los cálculos anteriores basados en el número de pies totales. Estas cortas no son apropiadas desde un punto de vista técnico dado que, si el objetivo es contar con un total de cinco pies por hectárea en el conjunto de la masa en la clase diamétrica de los 40 cm (cuatro de *Pinus nigra* y uno de *Quercus faginea*) no tiene sentido que cortemos cuatro pies para dejar sólo en el monte dos pies en la clase diamétrica de los 35 cm (que son los que encontraremos en la clase de los 40 cm en la siguiente rotación), menos de la mitad de las existencias deseadas para esa clase diamétrica. En este caso lo correcto es que las cortas garanticen las existencias y la cobertura del suelo que se desea en la ordenación (número de pies totales conjunto para las dos especies) y que sólo cuando haya superávit en alguna de las dos especies las cortas puedan modular la mezcla de especies para acercarlo progresivamente a las proporciones deseadas. Esto se garantiza con el primer procedimiento de cálculo utilizado, pero no con este segundo.

Imaginemos, por ejemplo, que en una determinada clase diamétrica se quisieran dejar un total de 100 pies y que se tuvieran en la masa sólo 10 pies de *Pinus nigra* y 90 de *Quercus faginea*. Lo lógico en este caso es no realizar cortas para mantener las existencias totales y no despoblar la masa, y sin embargo con este segundo procedimiento de cálculo (desglosando que queremos tener 80 pies de *Pinus nigra* y sólo 20 de *Quercus faginea*) se cortarían 70 de los 90 pies de *Quercus faginea* para quedarnos con sólo 30 pies en total, menos de la tercera parte de las existencias totales deseadas (lo que podría extenderse a todo el conjunto de la masa si la misma

situación se diera en todas las clases diamétricas), intervención de una intensidad a todas luces excesiva y fuera de los planteamientos razonables y aceptables dentro de esta ordenación por entresaca.

4.

Dado que el tiempo de paso es de 12 años, y que se desea que la frecuencia de las cortas en el monte sea de 3 años, habrá que formar cuatro tramos de entresaca en la ordenación (12/3). Cada uno de los tramos deberá formarse equiproductivo con vistas a mantener constantes los productos extraídos y las rentas a lo largo del tiempo en la ordenación. Como en este caso se ha establecido la misma curva objetivo para todo el monte, y suponemos que los volúmenes unitarios (m^3/pie) son los mismos para las dos especies en una determinada clase diamétrica, la posibilidad será la misma en todo el monte una vez ordenado según dicha curva objetivo ($52,15 m^3/\text{ha}$, según se determinó en el primer apartado). Por tanto, para que los cuatro tramos sean equiproductivos en el monte ordenado bastará con formarlos con la misma superficie (caso de calidad homogénea), es decir, con una cabida de 90 ha ($360 \text{ ha}/4$).

A diferencia de los tramos a formar en el caso de una ordenación de masas regulares, aquí no existe un criterio de edades decrecientes que determine la incorporación de los distintos cantones o zonas del monte a cada uno de los tramos en función de que sus masas estén por encima o sean las más próximas a la edad del turno, dado que en la entresaca se extraen simultáneamente pies de todas las edades. Por ello, y a falta de criterios adicionales, el primer tramo de entresaca (en el que se va a intervenir en el año actual) puede hacerse tanto en la zona A como en la B. Optamos en este caso por comenzar por la zona A.

En principio, la formación de tramos podría quedar como:

- Tramo I (a entresacar en el año actual, y en el año +12, +24, etc.), formado por 90 ha de la zona A.
- Tramo II (a entresacar en el año +3, +15, +27, etc.), formado por 90 ha de la zona A.
- Tramo III (a entresacar en el año +6, + 18, + 30, etc.), formado por 10 ha de la zona A (las que quedan tras incorporar 180 ha de esta zona en los dos tramos anteriores) y 80 ha de la zona B.
- Tramo IV (a entresacar en el año +9, +21, +33, etc.), formado por 90 ha de la zona B (las que quedan por asignar a algún tramo tras las ya incorporadas en tramos anteriores).

Sin embargo, dado que las cortas de entresaca tendrán que ejecutarse de una manera diferente en la zona A y en la B (en esta segunda de una manera más detallada al tratarse de una masa mixta), por motivos prácticos parece poco aconsejable incluir

en una misma entresaca (tramo) superficies de las dos zonas, como ocurre ahora mismo en el tramo III, siendo más adecuado que, si es posible, cada uno de los tramos contenga superficies de sólo una de las dos zonas. De acuerdo con este criterio modificamos la formación inicial de tramos para dejarlos como sigue:

- Tramo I (a entresacar en el año actual, y en año +12, +24, etc.), formado por 95 ha de la zona A.
- Tramo II (a entresacar en el año +3, +15, +27, etc.), formado por 95 ha de la zona A.
- Tramo III (a entresacar en el año +6, + 18, + 30, etc.), formado por 85 ha de la zona B.
- Tramo IV (a entresacar en el año +9, +21, +33, etc.), formado por 85 ha de la zona B.

De esta manera, los tramos I y II tienen una superficie (95 ha) y producción total algo superior a la de los tramos III y IV (85 ha), pero se trata de una diferencia relativamente pequeña que permite conseguir un rendimiento razonablemente similar en todos los tramos y a la vez garantizar una mayor simplicidad y operatividad en la ejecución práctica de los aprovechamientos previstos en la ordenación.

EJERCICIO 7. Un monte de 700 hectáreas poblado de hayas (*Fagus sylvatica*) situado en la Cordillera Cantábrica (Asturias) y con una estructura irregular se desea gestionar mediante entresaca pie a pie regularizada y extrayendo madera del monte cada dos años. En la tabla se muestran las distribuciones diamétricas de las masas del monte que son objetivo de la ordenación y que, debido a grandes diferencias en el tipo de suelo y la exposición, varían sustancialmente en dos zonas diferenciadas del monte, la zona 1 con 250 ha y la zona 2 con 450 ha. Se conoce que las hayas alcanzan los 50 cm de diámetro a los 140 años de edad en todas las zonas del monte.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona 1	Nº pies/ha objetivo zona 2	Nº pies/ha actual zona 2	m³/pie
10	80	120	112	0,26
15	53	92	189	0,32
20	36	60	165	0,43
25	24	46	141	0,52
30	16	35	67	0,71
35	13	33	5	0,85
40	9	23	3	1,25
45	6	16	0	1,95
50	1	7	2	2,50

Se pide:

1. Formar los tramos de entresaca en el monte y calcular la posibilidad en los mismos (en m³/ha y m³/ha-año) una vez alcanzadas las distribuciones diamétricas objetivo de la ordenación.

2. La distribución actual en la zona 2 presenta grandes diferencias con la distribución objetivo (grandes excesos en determinadas clases diamétricas y grandes déficits en otras) por lo que, para evitar cambios excesivamente bruscos en la masa se plantea no extraer más del 35% de los pies en cada entresaca, realizando así una transición más progresiva que no deje el suelo desprotegido en la primera intervención y evite problemas de estabilidad en la masa. Proponer las cortas a realizar en esta zona 2 hasta alcanzarse la distribución diamétrica objetivo ajustándose a dichos requisitos.

SOLUCIÓN

1.

En primer lugar necesitamos conocer la posibilidad en cada una de las dos zonas una vez alcanzada la distribución objetivo, para así poder formar los tramos de entresaca de manera que sean equiproductivos. Para ello, calculamos separadamente para cada una de las dos zonas el número de pies a extraer en cada clase diamétrica como la diferencia entre el número de pies en esa clase diamétrica y el número de pies en la clase diamétrica inmediatamente superior de la distribución objetivo. De la clase diamétrica mayor extraeremos todos los pies dado que, según especifica el enunciado, no queremos pies superiores a esas dimensiones en el monte (de dejar algunos sin cortar, éstos habrán superado en la siguiente rotación el diámetro máximo fijado). No obstante, habrá que tener en cuenta que en un caso más general podría ser adecuado dejar en pie en el monte algunos árboles de dimensiones superiores por sus efectos positivos sobre la biodiversidad.

Zona 1				
CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m ³ /pie	Volumen extraído (m ³ /ha)
10	80	80-53 = 27	0,26	7,0
15	53	53-36 = 17	0,32	5,4
20	36	36-24 = 12	0,43	5,2
25	24	24-16 = 8	0,52	4,2
30	16	16-13 = 3	0,71	2,1
35	13	13-9 = 4	0,85	3,4
40	9	9-6 = 3	1,25	3,8
45	6	6-1 = 5	1,95	9,8
50	1	1	2,50	2,5
Total	238	80		43,4

Lo que da una posibilidad total de 43,4 m³/ha. Sabemos que a los 140 años de edad las hayas alcanzan los 50 cm de diámetro, y que para pasar de una clase diamétrica a la siguiente tienen que crecer 5 cm de media, de donde, suponiendo un crecimiento diametral constante, se obtiene que el tiempo de paso es de 14 años. Por tanto, la posibilidad equivale a 3,1 m³/ha-año (43,4 ha/14 años).

Zona 2				
CD (cm)	Nº pies /ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m³/pie	Volumen extraído (m³/ha)
10	120	120-92 = 28	0,26	7,3
15	92	92-60 = 32	0,32	10,2
20	60	60-46 = 14	0,43	6,0
25	46	46-35 = 11	0,52	5,7
30	35	35-33 = 2	0,71	1,4
35	33	33-23 = 10	0,85	8,5
40	23	23-16 = 7	1,25	8,8
45	16	16-7 = 9	1,95	17,6
50	7	7	2,50	17,5
Total	432	120		83,0

De donde tenemos una posibilidad de 83,0 m³/ha que, dividida por el tiempo de paso (14 años), equivale a 5,93 m³/ha-año.

Ahora podemos proceder a formar los tramos de entresaca. En este monte, dado que el tiempo de paso es de 14 años y la periodicidad entre cortas es de 2 años, tendremos 7 tramos de entresaca (14/2), que habrá que formar equiproductivos, y no simplemente equisuperficiales, ya que tenemos dos curvas objetivo diferentes que dan lugar a diferentes producciones (dos calidades diferentes) dentro del monte objeto de ordenación.

La producción total en el monte ordenado una vez entresacados todos los tramos en un periodo de 14 años será de 48200 m³, suma de las extracciones realizadas en la zona 1 (250 ha · 43,4 m³/ha) y en la zona 2 (450 ha · 83,0 m³/ha), y por tanto de cada uno de los siete tramos equiproductivos deberán extraerse un total de 6886 m³ en la entresaca.

A diferencia de las masas coetáneas o regulares, aquí no hay un criterio decreciente de edades para ir incorporando zonas o cantones del monte a los distintos tramos, ya que en la entresaca se extraen simultáneamente árboles de todas las edades en una misma intervención. Como el enunciado no especifica ninguna otra circunstancia relevante en este sentido, empezamos por incorporar al primer tramo superficie de la zona 1 (igualmente se podría hacer empezando por la zona 2).

TRAMO I (a entresacar en el año actual, año 0): 6886 m³ a extraer de la zona 1 equivalen a 159 ha en esta zona 1 (6886 m³/43,4 m³/ha), que son las que incorporamos a este primer tramo.

TRAMO II (a entresacar en el año +2): tras formar el tramo I nos quedan 91 ha (250 ha -159 ha) de la zona 1 para incorporar al segundo tramo, de las que se extraerían un total de 3949 m³ (91 ha · 43,4 m³/ha). Tras incorporar estas 91 ha de la zona 1 nos faltan 2937 m³ para formar un tramo equiproductivo (6886 m³), que sólo pueden provenir ya de la zona 2. Por tanto tomamos 35 ha de la zona 2 ((2937 m³) / 83,0 m³/ha) y dejamos el tramo formado finalmente con 91 ha de la zona 1 y 35 ha de la zona 2.

Todos los cinco tramos restantes (a entresacar en los años +4, +6, +8, +10 y +12) estarán compuestos sólo por superficie de la zona 2, con una cabida de 83 ha ((6886 m³) / 83,0 m³/ha), que son las que corresponden a un tramo exactamente equiproductivo en esa zona 2.

La misma formación de tramos se puede realizar, con algunos cálculos adicionales respecto al procedimiento anterior, acudiendo a la superficie equivalente en calidad media, de manera que cada uno de los siete tramos se forme con una cabida equivalente a 100 ha de calidad media. Calculamos para ello la producción en la calidad media del monte (P_{med}), sabiendo que 250 ha producen 43,4 m³/ha y que las 450 ha restantes producen 83,0 m³/ha.

$$P_{med} = (250 \text{ ha} \cdot 43,4 \text{ m}^3/\text{ha} + 450 \text{ ha} \cdot 83,0 \text{ m}^3/\text{ha})/700 \text{ ha} = 68,9 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Y operamos de manera similar a los ejercicios de masas coetáneas o regulares a la hora de formar los tramos en el caso de calidad heterogénea, calculando los factores de paso de cada una de las zonas a la calidad media.

1 ha de la zona 1 (peor calidad) equivale a $43,4/68,9 = 0,630$ ha de calidad media

1 ha de la zona 2 (mejor calidad) equivale a $83,0/68,9 = 1,205$ ha de calidad media

Al igual que en el caso anterior, optamos por incorporar primero al primer tramo superficie de la zona 1, con lo que nos queda:

TRAMO I (a entresacar en el año actual, año 0): para tener 100 ha de calidad media necesitamos 159 ha de la zona 1 (100 ha/0,630), que son las que incorporamos a este primer tramo.

TRAMO II (a entresacar en el año +2): tras formar el tramo I nos quedan 91 ha (250 ha -159 ha) de la zona 1 para incorporar al segundo tramo, que equivalen a 57,3 ha de calidad media (91 ha · 0,630), por lo que nos faltan otras 42,7 ha de calidad media que habrá ya que tomar de la zona 2, lo que equivale a 35 ha de esa zona 2 (42,7 ha /1,205).

Todos los cinco tramos restantes (a entresacar en los años +4, +6, +8, +10 y +12) estarán compuestos sólo por superficie de la zona 2, con una cabida de 83 ha (100 ha /1,205), que es a lo que equivalen 100 ha de calidad media en dicha zona 2.

Se puede observar que los resultados obtenidos mediante los dos procedimientos son idénticos, como no podía ser de otra manera.

2.

En primer lugar, podemos comprobar por los cálculos realizados en el apartado anterior que, una vez alcanzada la distribución objetivo en la zona 2, el número de pies extraído en cada entresaca supondrá sólo algo menos del 28% del total (120 pies extraídos frente a un total de 432 pies en la distribución objetivo), por tanto por debajo del límite del 35% establecido en el enunciado.

Tras esta comprobación, estudiamos cómo se llevarían a cabo las extracciones en la situación actual de la masa, si la entresaca se planteara sin ninguna restricción ni prudencia en cuanto a la intensidad de la intervención. Calculamos los pies a extraer en cada clase diamétrica a partir de los datos de la distribución diamétrica actual en esa zona y los de la distribución diamétrica objetivo. Los pies a extraer serán la diferencia entre el número de pies en una determinada clase diamétrica de la distribución actual y el número de pies en la clase diamétrica inmediatamente superior de la distribución objetivo, salvo los casos en que haya déficit de pies (en los que dicha diferencia resultará negativa) y no se podrá por tanto cortar ningún pie.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona 2	Nº pies/ha actual	Extracciones año actual (nº pies/ha)
10	120	112	$112 - 92 = 20$
15	92	189	$189 - 60 = 129$
20	60	165	$165 - 46 = 119$
25	46	141	$141 - 35 = 106$
30	35	67	$67 - 33 = 34$
35	33	5	0
40	23	3	0
45	16	0	0
50	7	2	2
Total	432	684	410

De donde podemos observar que de esta manera se extraen un total de 410 pies en la primera intervención respecto al total de 684 pies existentes inicialmente en la masa, lo que representa un 60% de los pies, muy por encima del máximo del 35% de pies extraídos que se admite para evitar impactos negativos sobre el vuelo y el suelo, según el enunciado. Por tanto, reduciremos el número de pies extraído en cada clase diamétrica multiplicando por un factor constante a las extracciones arriba determinadas, factor que será igual al cociente entre el máximo de 239 pies que podemos extraer para ese límite del 35% y los 410 pies que se extraerían sin restricciones ($239/410 = 0,583$). Optamos por no cortar en esta primera entresaca ninguno de los pies de la clase diamétrica de los 50 cm, a pesar de que en la curva objetivo no se contempla que se mantengan en la masa pies por encima de ese diámetro, para compensar la gran carencia de pies en las clases diamétricas superiores en la distribución actual. Con ello, las cortas finales a realizar y la masa que se prevé encontrar en la segunda rotación (suponiendo que se incorporan en la primera clase diamétrica el número de pies suficiente para cubrir las existencias de la curva objetivo) quedan como figura en la siguiente tabla.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona 2	Nº pies/ha actual	Extracciones año actual (nº pies/ha)	Nº pies/ha año +14
10	120	112	12	120
15	92	189	75	$112-12 = 100$
20	60	165	69	$189-75 = 114$
25	46	141	62	$165-69 = 96$
30	35	67	20	$141-62 = 79$
35	33	5	0	$67-20 = 47$
40	23	3	0	$5-0 = 5$
45	16	0	0	$3-0 = 3$
50	7	2	0	0
55	0	0	0	$2-0 = 2$
Total	432	684	238	566

Donde se observa que en la entresaca realizada en el año actual se ha extraído menos del 35% de los pies totales de la masa (238 de 684 pies).

En la siguiente rotación (año +14) operamos de una manera similar, calculando primero cómo se harían las cortas en el caso de no haber establecido ninguna restricción.

CD (cm)	N° pies/ha objetivo zona 2	N° pies/ha año +14	Extracciones año + 14 (n° pies/ha)
10	120	120	120-92 = 28
15	92	100	100-60 = 40
20	60	114	114-46 = 68
25	46	96	96 - 35 = 61
30	35	79	79 - 33 = 46
35	33	47	47 - 23 = 24
40	23	5	0
45	16	3	0
50	7	0	0
55	0	2	2
Total	432	566	269

Donde observamos que se extraerían el 48% de los pies (269 de 566), valor similar al del 60% que se obtuvo en la rotación anterior, pero muy por encima todavía del límite del 35% fijado. Por tanto, de nuevo reduciremos el número de pies extraído en cada clase diamétrica multiplicando por un factor constante las extracciones arriba determinadas, factor que será igual al cociente entre el máximo de 198 pies que podemos extraer ahora para ese límite del 35% y los 269 pies que se extraerían sin restricciones ($198/269 = 0,736$). En este caso, el déficit que queda en las clases diamétricas de los 40, 45 y 50 cm tras la entresaca no es tan grande como en la rotación anterior, por lo que ahora ya optamos por cortar los dos pies con diámetro superior a los 50 cm. Redondeando los valores obtenidos a números enteros obtenemos los resultados de la tabla siguiente.

CD (cm)	N° pies/ha objetivo zona 2	N° pies/ha año +14	Extracciones año +14 (n° pies/ha)	N° pies/ha año +28
10	120	120	21	120
15	92	100	29	99
20	60	114	50	71
25	46	96	45	64
30	35	79	34	51

35	33	47	18	45
40	23	5	0	29
45	16	3	0	5
50	7	0	0	3
55	0	2	2	0
Total	432	566	199	487

Donde se observa que nos ajustamos al máximo del 35% en el número de pies extraídos (199 frente a un total de 566 pies en el año +14).

Repitiendo el procedimiento en la siguiente entresaca en el año + 28, obtendríamos, sin imponer ninguna restricción a las cortas, los siguientes resultados.

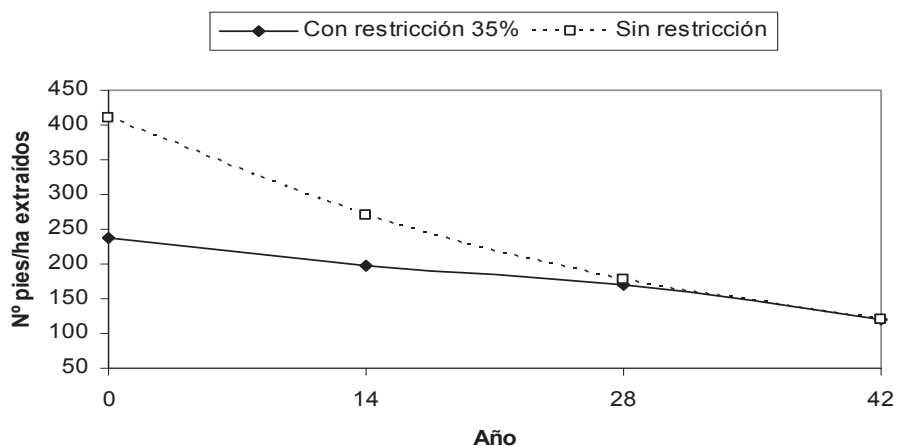
CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona 2	Nº pies/ha año +28	Extracciones año + 28 (nº pies/ha)
10	120	120	120-92 = 28
15	92	99	99-60 = 39
20	60	71	71-46 = 25
25	46	64	64-35 = 29
30	35	51	51-33 = 18
35	33	45	45-23 = 22
40	23	29	29-16 = 13
45	16	5	0
50	7	3	3
Total	432	487	177

Donde vemos que en dicha entresaca sin restricciones se extraería el 36,5% de los pies, valor muy próximo al límite del 35% establecido, por lo que las extracciones se pueden aceptar tal como se acaban de calcular. En todo caso, si se desea ser del todo exacto desde el punto de vista numérico, bastaría con cortar un pie menos en cada una de las siete clases diamétricas primeras, con lo que tendríamos lo que se recoge en la tabla siguiente.

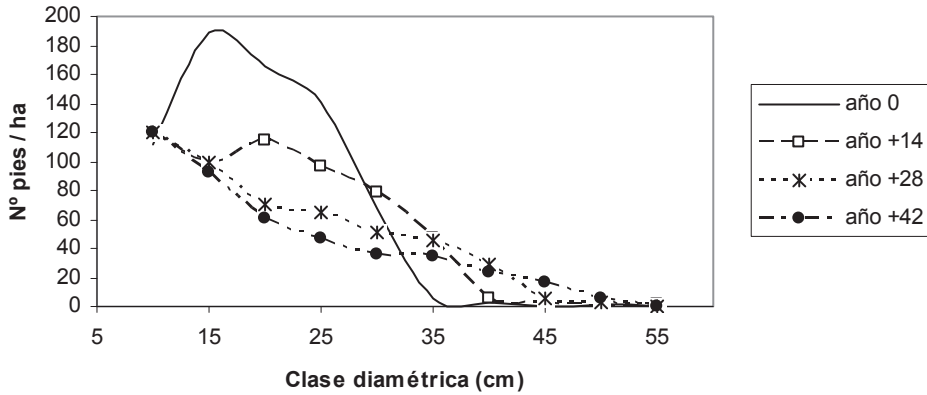
CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona 2	Nº pies/ha año +28	Extracciones año +28 (nº pies/ha)	Nº pies/ha año +42
10	120	120	27	120
15	92	99	38	93
20	60	71	24	61
25	46	64	28	47
30	35	51	17	36
35	33	45	21	34
40	23	29	12	24
45	16	5	0	17
50	7	3	3	5
Total	432	487	170	437

Donde en el año +28 extraemos el 35% de los pies totales (170 frente a 487). Observamos también que en el año +42 la curva diamétrica es ya prácticamente igual a la objetivo, con diferencias de sólo uno o dos pies por hectárea en cada clase diamétrica, y que por tanto a partir de entonces las extracciones se pueden suponer las mismas, salvo imprevistos, a las ya calculadas en el apartado anterior para la curva objetivo de la zona 2, en la que el número de pies extraído en cada entresaca se sitúa por debajo de ese 35% fijado.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución del número de pies extraídos en la masa, con y sin la restricción del 35% de los pies totales, en las sucesivas entresacas realizadas hasta alcanzar la curva objetivo.



Y en la gráfica siguiente podemos observar cómo va variando la distribución diamétrica con las entresacas sucesivas (realizadas teniendo en cuenta la restricción del 35%) hasta acercarse a la curva objetivo, prácticamente igual a la que ya se obtiene en el año +42.



EJERCICIO 8. Se desea ordenar un monte de haya (*Fagus sylvatica*) situado en Navarra y con una superficie total de 520 hectáreas mediante entresaca regularizada pie a pie realizando cortas en el monte cada 4 años. Se cuenta con la referencia de una distribución diamétrica para esta misma especie que se ha venido utilizando con éxito en la gestión de otros montes próximos de la región (ver tabla).

Sin embargo, la situación más meridional y la menor calidad de la estación respecto a esos montes sugieren que este mismo modelo de gestión no podrá aplicarse directamente en el monte actual. Aunque se estima adecuado mantener el mismo factor de De Liocourt que se deriva, en términos medios, de la distribución utilizada con éxito en los montes próximos, se cuenta con evidencias de que el área basimétrica en las masas de este monte no debe superar los 27 m²/ha en las de calidad I (320 ha) y los 22 m²/ha en las de calidad II (200 ha) para que la regeneración sea suficientemente vigorosa.

Por otro lado, el monte se divide en dos zonas con objetivos diferenciados. En la zona A, formada por 180 hectáreas y todas ellas de la calidad I, se decide mantener pies gruesos de hasta la clase diamétrica de los 60 cm por los efectos beneficiosos que éstos tienen para distintas especies y el conjunto de la biodiversidad del bosque. El resto del monte (zona B) se orienta con un criterio de una producción más ágil, con la intención de evitar ciertos problemas de deterioro que se producen en los pies más añosos, extrayéndose en cada rotación todos aquellos árboles que se encuentren en la clase diamétrica de los 50 cm.

Se conoce que en este monte las hayas alcanzan los 50 cm de diámetro a los 160 años de edad.

Se pide:

1. Determinar las curvas diamétricas objetivo que sean necesarias para gestionar el monte de acuerdo con los criterios establecidos en el enunciado.
2. Calcular la posibilidad del monte ordenado para cada una de las curvas objetivo determinadas en el apartado anterior.
3. Formar los tramos de entresaca de manera que éstos sean equiproductivos, y teniendo en cuenta que el propietario prefiere que se realice antes la entresaca en aquellas zonas del monte que proporcionan una mayor posibilidad (m³/ha). Indicar el año en que se realiza la entresaca en cada tramo.
4. Indicar el año en que se alcanzaría la distribución objetivo y determinar los pies a extraer en cada clase diamétrica en las rotaciones que se realicen hasta ese momento en una masa situada en la zona B dentro de la calidad I y que presenta en el año actual la distribución diamétrica de la tabla.

CD (cm)	N° pies/ha (montes próximos)	N° pies/ha actuales (masa calidad I y zona B)	m ³ /pie
10	295	170	0,2
15	197	160	0,3
20	131	40	0,4
25	87	80	0,5
30	58	100	0,6
35	39	7	0,8
40	26	3	1,1
45	17	1	1,5
50	11	0	1,9
55	7	0	2,0
60	5	0	2,1

SOLUCIÓN

1.

En el monte contamos con 320 hectáreas de calidad I y 200 hectáreas de calidad II. La zona A (con un objetivo más favorable a la conservación de la biodiversidad) tiene una extensión de 180 ha (todas de calidad I), y el resto del monte está englobado en la zona B (con un objetivo más marcadamente productor) que tiene por tanto un total de 340 ha, 140 ha de calidad I (las que quedan sin incluir en la zona A, 320 ha -180 ha) y 200 ha de calidad II (todas las de esta calidad que hay en el monte).

Procedamos entonces a determinar las curvas de equilibrio que se piden. Lo primero que necesitamos es conocer el factor de De Liocourt (a) de los hayedos de los montes próximos, que consideraremos como válido también para las curvas objetivo que plantearemos en la ordenación de nuestro monte. Para ello basta simplemente con obtener el cociente entre el número de pies de una determinada clase diamétrica y el de la siguiente para la curva de referencia de los montes próximos. Por ejemplo, el factor de De Liocourt entre las clases diamétricas de los 10 y 15 cm es de $295 \text{ pies} / 197 \text{ pies} = 1,497$ (valor que se muestra en la tabla siguiente para la fila de la clase diamétrica 15), operándose de manera análoga para el resto.

CD (cm)	N° pies/ha (montes próximos)	Factor de De Liocourt (<i>a</i>)
10	295	--
15	197	1,497
20	131	1,504
25	87	1,506
30	58	1,500
35	39	1,487
40	26	1,500
45	17	1,529
50	11	1,545
55	7	1,571
60	5	1,400

De donde se observa que, en términos medios, es una buena aproximación tomar un factor de De Liocourt de $a=1,5$.

Por otro lado, en la zona A mantendremos árboles de hasta 62,5 cm de diámetro (clase diamétrica de los 60 cm) y, al ser toda la zona A de calidad I, el objetivo es un área basimétrica de 27 m²/ha, según los datos del enunciado. Si llamamos n al número de pies por hectárea en la clase diamétrica mayor y a al factor de De Liocourt, tenemos que en general nuestra curva objetivo adoptará la forma de la tabla siguiente. Por otro lado, conocemos la sección normal que aporta cada pie (m²/pie) al área basimétrica total según la clase diamétrica a la que pertenece $(\pi \cdot (d/200))^2$, donde d es el diámetro en cm, y por tanto podemos calcular el área basimétrica total de nuestra distribución objetivo, que debe ser igual a 27 m²/ha.

CD (cm)	N° pies/ha objetivo zona A	m²/pie
10	$n \cdot a^{10}$	0,00785
15	$n \cdot a^9$	0,01767
20	$n \cdot a^8$	0,03142
25	$n \cdot a^7$	0,04909

30	$n \cdot a^6$	0,07069
35	$n \cdot a^5$	0,09621
40	$n \cdot a^4$	0,12566
45	$n \cdot a^3$	0,15904
50	$n \cdot a^2$	0,19635
55	$n \cdot a$	0,23758
60	n	0,28274

Planteando y resolviendo la ecuación dada por la condición anterior determinamos el valor de n y de ahí la distribución objetivo completa para la zona A. Esta ecuación realmente depende sólo de n puesto que el valor de a ya ha sido estimado anteriormente ($a=1,5$).

$$0,00785 \cdot n \cdot a^{10} + 0,01767 \cdot n \cdot a^9 + 0,03142 \cdot n \cdot a^8 + 0,04909 \cdot n \cdot a^7 + 0,07069 \cdot n \cdot a^6 + 0,09621 \cdot n \cdot a^5 + 0,12566 \cdot n \cdot a^4 + 0,15904 \cdot n \cdot a^3 + 0,19635 \cdot n \cdot a^2 + 0,23758 \cdot n \cdot a + 0,28274 \cdot n = 27 \text{ m}^2/\text{ha}$$

Como $a = 1,5$ tenemos

$$6,57 \cdot n = 27 \text{ m}^2/\text{ha}$$

De donde obtenemos que $n=4,11$. Conviene no redondear el valor de n al entero más próximo en este primer momento, y operar en cambio con el valor sin redondear para determinar el número de pies en todas las clases diamétricas (multiplicando por a el número de veces necesario), redondeando después los valores resultantes y obteniendo así la curva objetivo de la ordenación en la zona A.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona A
10	237
15	158
20	105
25	70
30	47
35	31
40	21

45	14
50	9
55	6
60	4

Para la zona B se procede de manera similar pero teniendo en cuenta que los pies más gruesos que se mantendrán en el monte son los de la clase diamétrica de 50 cm, y que en la zona B existen dos calidades de la estación diferentes, en la primera de las cuales (calidad I) el área basimétrica será de 27 m²/ha y en la otra (calidad II) será de 22 m²/ha.

Por tanto, dentro de la zona B tendremos dos curvas objetivo diferentes, una para la zona de calidad I (diámetro máximo de 50 cm y área basimétrica de 27 m²/ha) y otra para la zona de calidad II (diámetro máximo de 50 cm y área basimétrica de 22 m²/ha).

Planteamos de manera análoga a como hicimos para la zona A la ecuación para la curva objetivo en la zona B de calidad I. Nótese que igualmente tomamos $a=1,5$ pero que ahora n representa el número de pies por hectárea en la clase diamétrica 50 cm (la mayor en esta zona).

CD (cm)	N° pies/ha objetivo zona B	m²/pie
10	$n \cdot a^8$	0,00785
15	$n \cdot a^7$	0,01767
20	$n \cdot a^6$	0,03142
25	$n \cdot a^5$	0,04909
30	$n \cdot a^4$	0,07069
35	$n \cdot a^3$	0,09621
40	$n \cdot a^2$	0,12566
45	$n \cdot a$	0,15904
50	n	0,19635

Obtenemos entonces la siguiente ecuación para la calidad I en la zona B,

$$0,00785 \cdot n \cdot a^8 + 0,01767 \cdot n \cdot a^7 + 0,03142 \cdot n \cdot a^6 + 0,04909 \cdot n \cdot a^5 + 0,07069 \cdot n \cdot a^4 + 0,09621 \cdot n \cdot a^3 + 0,12566 \cdot n \cdot a^2 + 0,15904 \cdot n \cdot a + 0,19635 \cdot n = 27 \text{ m}^2/\text{ha}$$

Como $a=1,5$, según se determinó anteriormente, sustituyendo en la ecuación anterior tenemos:

$$2,634 \cdot n = 27 \text{ m}^2/\text{ha}$$

De donde obtenemos que $n=10,25$ para la zona B de calidad I.

Para la zona B de calidad II, la ecuación es la misma que la planteada para la calidad I, salvo por el valor del área basimétrica, que es de 22 m²/ha en lugar de 27 m²/ha.

$$2,634 \cdot n = 22 \text{ m}^2/\text{ha}$$

De donde obtenemos que $n=8,35$ para la zona B de calidad II.

Por tanto podemos calcular ya las curvas objetivo para las dos calidades presentes en la zona B, de nuevo evitando el redondeo inicial del valor de n que repercutiría en valores poco exactos para las clases diamétricas superiores al irse acumulando el efecto del redondeo en sucesivas multiplicaciones del valor de n por el factor de De Liocourt a .

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo zona B calidad I	Nº pies/ha objetivo zona B calidad II
10	263	214
15	175	143
20	117	95
25	78	63
30	52	42
35	35	28
40	23	19
45	15	13
50	10	8

Con lo que quedan resueltas las tres curvas objetivo pedidas en el enunciado.

Las mismas curvas que acabamos de determinar operando en forma de tablas se pueden resolver de una manera más elegante (desde el punto de vista matemático) sabiendo que un factor de De Liocourt constante entre clases diamétricas equivale a un modelo de distribución diamétrica que sigue una exponencial negativa o modelo de Meyer, y que se expresa de la siguiente manera:

$$N_i = K \cdot e^{-q \cdot D_i}$$

donde N_i es el número de pies que tienen un diámetro D_i , y K y q son constantes. El valor de q se relaciona directamente con el factor de De Liocourt (a) mediante la siguiente expresión, en la que d es el ancho o intervalo entre las clases diamétricas consideradas (obviamente D_i y d deben estar en las mismas unidades, centímetros en este caso):

$$q = \frac{\ln(a)}{d}$$

Como en este caso $a=1,5$ y $d=5$ cm, obtenemos que $q=0,08109$, y nos falta por conocer el valor de K para determinar la expresión completa del modelo de Meyer, valor que se obtendrá en función del área basimétrica que se plantea como adecuada en cada una de las masas.

El área basimétrica total que aportan los pies de la masa comprendidos entre dos diámetros determinados x e y ($AB_{x,y}$ expresada en m^2/ha) viene dado por la siguiente integral definida del producto del número de pies (N_i) y la sección normal que aporta cada uno de ellos:

$$AB_{x,y} = \int_{D_i=x}^{D_i=y} N_i \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_i}{200} \right)^2 \cdot dD_i = \frac{\pi \cdot K}{40000} \cdot \int_{D_i=x}^{D_i=y} e^{-q \cdot D_i} \cdot D_i^2 \cdot dD_i$$

Esta integral la podemos resolver fácilmente por partes, sabiendo que en general:

$$\int u(x) \cdot \frac{dv(x)}{dx} \cdot dx = u(x) \cdot v(x) - \int v(x) \cdot \frac{du(x)}{dx} \cdot dx$$

En este caso en el que $x=D_i$ queda:

$$\int u(D_i) \cdot \frac{dv(D_i)}{dD_i} \cdot dD_i = u(D_i) \cdot v(D_i) - \int v(D_i) \cdot \frac{du(D_i)}{dD_i} \cdot dD_i$$

Integramos entonces por partes tomando:

$$u(D_i) = D_i^2$$

$$\frac{dv(D_i)}{dD_i} = e^{-q \cdot D_i}$$

De donde:

$$\frac{du(D_i)}{dD_i} = 2 \cdot D_i$$

$$v(D_i) = -\frac{1}{q} \cdot e^{-q \cdot D_i}$$

Que sustituyendo en la fórmula anterior para la integración por partes nos da:

$$\int e^{-q \cdot D_i} \cdot D_i^2 \cdot dD_i = -\frac{1}{q} \cdot D_i^2 \cdot e^{-q \cdot D_i} + \int \frac{1}{q} \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot 2 \cdot D_i \cdot dD_i$$

Hacemos una segunda y última integración por partes para la integral que queda a la derecha de la expresión anterior tomando ahora:

$$u(D_i) = 2 \cdot D_i$$

$$\frac{dv(D_i)}{dD_i} = \frac{1}{q} \cdot e^{-q \cdot D_i}$$

De donde:

$$\frac{du(D_i)}{dD_i} = 2$$

$$v(D_i) = -\frac{1}{q^2} \cdot e^{-q \cdot D_i}$$

Que aplicando la fórmula de la integración por partes a la expresión anterior, y resolviendo directamente la integral simple que nos queda tenemos:

$$\begin{aligned} \int e^{-q \cdot D_i} \cdot D_i^2 \cdot dD_i &= -\frac{1}{q} \cdot D_i^2 \cdot e^{-q \cdot D_i} + \int \frac{1}{q} \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot 2 \cdot D_i \cdot dD_i = \\ &= -\frac{1}{q} \cdot D_i^2 \cdot e^{-q \cdot D_i} - 2 \cdot D_i \cdot \frac{1}{q^2} \cdot e^{-q \cdot D_i} + \int \frac{1}{q^2} \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot 2 \cdot dD_i = \\ &= -\frac{1}{q} \cdot D_i^2 \cdot e^{-q \cdot D_i} - 2 \cdot D_i \cdot \frac{1}{q^2} \cdot e^{-q \cdot D_i} - 2 \cdot \frac{1}{q^3} \cdot e^{-q \cdot D_i} \end{aligned}$$

De donde tenemos que el área basimétrica total que aportan los pies de la masa comprendidos entre dos diámetros determinados x e y es:

$$\begin{aligned} AB_{x;y} &= \frac{\pi \cdot K}{40000} \cdot \int_{D_i=x}^{D_i=y} e^{-q \cdot D_i} \cdot D_i^2 \cdot dD_i \\ AB_{x;y} &= \frac{\pi \cdot K}{40000} \cdot \left[-\frac{1}{q} \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot D_i^2 - \frac{2}{q^2} \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot D_i - \frac{2}{q^3} \cdot e^{-q \cdot D_i} \right]_x^y \\ AB_{x;y} &= \frac{-\pi \cdot K}{40000} \cdot \left[e^{-q \cdot D_i} \cdot \left(\frac{D_i^2}{q} + \frac{2 \cdot D_i}{q^2} + \frac{2}{q^3} \right) \right]_x^y \\ AB_{x;y} &= \frac{-\pi \cdot K}{40000} \cdot \left(e^{-q \cdot y} \cdot \left(\frac{y^2}{q} + \frac{2 \cdot y}{q^2} + \frac{2}{q^3} \right) - e^{-q \cdot x} \cdot \left(\frac{x^2}{q} + \frac{2 \cdot x}{q^2} + \frac{2}{q^3} \right) \right) \end{aligned}$$

Nótese que esta expresión nos permite determinar la curva diamétrica de De Liocourt-Meyer para cualquier monte en el que conozcamos el factor de De Liocourt y el área basimétrica total que se desea mantener en la masa. En este caso, sabemos que el área basimétrica de la masa inventariable debe ser de igual a 27 m²/ha o 22 m²/ha según las zonas del monte, con lo que la expresión anterior se iguala en cada una de ellas a:

- $AB_{x,y} = AB_{7,5; 62,5} = 27 \text{ m}^2/\text{ha}$, para la zona A, en la que tenemos un área basimétrica de $27 \text{ m}^2/\text{ha}$ para las clases diamétricas inventariables, que van desde la clase diamétrica 10 cm (diámetro mínimo $x=7,5$ cm) hasta la clase diamétrica 60 cm (diámetro máximo $y=62,5$ cm).

- $AB_{x,y} = AB_{7,5; 52,5} = 27 \text{ m}^2/\text{ha}$, para la calidad I en la zona B, en la que tenemos un área basimétrica de $27 \text{ m}^2/\text{ha}$ para las clases diamétricas inventariables, que van desde la clase diamétrica 10 cm (diámetro mínimo $x=7,5$ cm) hasta la clase diamétrica 50 cm (diámetro máximo $y=52,5$ cm).

- $AB_{x,y} = AB_{7,5; 52,5} = 22 \text{ m}^2/\text{ha}$, para la calidad II en la zona B, en la que tenemos un área basimétrica de $22 \text{ m}^2/\text{ha}$ para las clases diamétricas inventariables, que van desde la clase diamétrica 10 cm (diámetro mínimo $x=7,5$ cm) hasta la clase diamétrica 50 cm (diámetro máximo $y=52,5$ cm).

Como conocemos que $q=0,08109$ para todas las curvas pedidas en el ejercicio, podemos resolver las tres ecuaciones anteriores para obtener los respectivos valores de K , quedando las respectivas expresiones del modelo de Meyer como:

$$N_i = 106,9513 \cdot e^{-0,08109 \cdot D_i} \quad \text{para la zona A.}$$

$$N_i = 118,5338 \cdot e^{-0,08109 \cdot D_i} \quad \text{para la calidad I en la zona B.}$$

$$N_i = 96,5831 \cdot e^{-0,08109 \cdot D_i} \quad \text{para la calidad II en la zona B.}$$

A partir de estas expresiones continuas, que nos dan el número de pies existentes en la masa en cualquier rango de diámetros, podemos obtener las distribuciones diamétricas tabuladas en intervalos de 5 cm como los que hemos manejado hasta ahora en el ejercicio. Para ello, basta con saber que el número de pies existente entre dos diámetros x y y ($N_{x,y}$) cualesquiera ($x < y$) viene dado por la siguiente integral definida de la curva de Meyer:

$$N_{x,y} = \int_{D_i=x}^{D_i=y} K \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot dD_i = -\frac{K}{q} e^{-q \cdot y} + \frac{K}{q} e^{-q \cdot x} = -\frac{K}{q} (e^{-q \cdot y} - e^{-q \cdot x})$$

Donde dando valores para cada una de las clases diamétricas ($x=7,5$ cm e $y=12,5$ para la clase diamétrica de los 10 cm, $x=12,5$ cm e $y=17,5$ cm para la clase diamétrica de los 15 cm, y así sucesivamente hasta la clase diamétrica mayor fijada en cada una de las zonas), y con los valores de K y q arriba determinados, obtenemos las siguientes distribuciones diamétricas en forma de tabla:

CD (cm)	N° pies/ha objetivo zona A	N° pies/ha objetivo zona B calidad I	N° pies/ha objetivo zona B calidad II
10	239	265	216
15	160	177	144
20	106	118	96
25	71	79	64
30	47	52	43
35	32	35	28
40	21	23	19
45	14	16	13
50	9	10	8
55	6	0	0
60	4	0	0

Valores prácticamente idénticos a los hallados anteriormente mediante los cálculos en la modalidad de tablas, con una diferencia máxima de dos pies por hectárea en las clases diamétricas más pequeñas. Estas diferencias menores son debidas a los redondeos en los números realizados principalmente en los cálculos en forma de tabla, siendo estos obtenidos aquí a partir del modelo continuo de Meyer más exactos que los primeros. No obstante, los siguientes apartados del ejercicio los resolveremos basándonos en las distribuciones determinadas en el procedimiento de cálculo inicial en forma de tablas, que es el que gran parte de los alumnos habrán seguido por resultar más sencillo para la mayoría de ellos. Por otro lado, los resultados que se obtendrían a partir de estas últimas distribuciones diamétricas son prácticamente idénticos a los que se presentan en los apartados siguientes.

2.

Para calcular la posibilidad en el monte ordenado según las distintas curvas objetivo basta con considerar el número de pies en cada clase diamétrica que hemos determinado en el apartado anterior, y saber que el número de pies a extraer en cada clase diamétrica será la diferencia entre el número de pies en esa clase diamétrica y el número de pies en la clase diamétrica inmediatamente superior. De la clase diamétrica mayor extraeremos todos los pies dado que no queremos pies superiores a esas dimensiones en el monte (de dejar algunos sin cortar, éstos habrán superado en la siguiente rotación el diámetro máximo fijado), según lo especificado en el enunciado.

Operamos de esta manera para cada una de las tres curvas objetivo (Zona A, Zona B en calidad I y Zona B en calidad II).

CD (cm)	Zona A			
	Nº pies/ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m ³ /pie	Volumen extraído (m ³ /ha)
10	237	237-158 = 79	0,2	15,8
15	158	158-105 = 53	0,3	15,9
20	105	105-70 = 35	0,4	14,0
25	70	70-47 = 23	0,5	11,5
30	47	47-31 = 16	0,6	9,6
35	31	31-21 = 10	0,8	8,0
40	21	21-14 = 7	1,1	7,7
45	14	14-9 = 5	1,5	7,5
50	9	9-6 = 3	1,9	5,7
55	6	6-4 = 2	2,0	4,0
60	4	4	2,1	8,4
Total				108,1

CD (cm)	Zona B Calidad I			
	Nº pies/ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m ³ /pie	Volumen extraído (m ³ /ha)
10	263	263-175 = 88	0,2	17,6
15	175	175-117 = 58	0,3	17,4
20	117	117-78 = 39	0,4	15,6
25	78	78-52 = 26	0,5	13,0
30	52	52-35 = 17	0,6	10,2
35	35	35-23 = 12	0,8	9,6
40	23	23-15 = 8	1,1	8,8
45	15	15-10 = 5	1,5	7,5
50	10	10	1,9	19,0
Total				118,7

CD (cm)	Zona B Calidad II			
	Nº pies/ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m³/pie	Volumen extraído (m³/ha)
10	214	214-143 = 71	0,2	14,2
15	143	143-95 = 48	0,3	14,4
20	95	95-63 = 32	0,4	12,8
25	63	63-42 = 21	0,5	10,5
30	42	42-28 = 14	0,6	8,4
35	28	28-19 = 9	0,8	7,2
40	19	19-13 = 6	1,1	6,6
45	13	13-8 = 5	1,5	7,5
50	8	8	1,9	15,2
			Total	96,8

Lo que da las siguientes posibilidades totales:

Zona A: 108,1 m³/ha

Zona B calidad I: 118,7 m³/ha

Zona B calidad II: 96,8 m³/ha

Para expresar estas posibilidades en m³/ha-año, necesitamos conocer el tiempo de paso entre clases diamétricas (número de años medio que se espera que un pie tarde en pasar de una clase diamétrica a la siguiente), que es igual a su vez a la duración de la rotación o el número de años transcurridos entre dos cortas de entresaca en un mismo punto del monte. Para ello sabemos por el enunciado que las hayas del monte tardan unos 160 años en alcanzar un diámetro normal de 50 cm, de donde, suponiendo un crecimiento diametral constante a lo largo de la vida de los árboles (lo cual es suficientemente aproximado y lo que se considera habitualmente en la ordenación por entresaca) tenemos que se necesitan 16 años para crecer 5 cm en diámetro (diferencia entre dos clases diamétricas consecutivas en las distribuciones objetivo), por lo que el tiempo de paso y la rotación es precisamente de 16 años. Por tanto, esa posibilidad en m³/ha se obtendrá cada 16 años, valor por el que hay que dividir las posibilidades anteriores en m³/ha para obtener:

Zona A: 6,76 m³/ha-año

Zona B calidad I: 7,42 m³/ha-año

Zona B calidad II: 6,05 m³/ha-año

Nótese que la periodicidad entre cortas establecida en la ordenación (4 años) afecta a la formación de los tramos pero no a los cálculos de la posibilidad que se obtiene del monte. En la ordenación se extrae madera en algún punto del monte cada 4 años (en función de los tramos que se definen en el apartado siguiente), pero en un mismo punto del monte se corta sólo cada 16 años.

3.

El número de tramos de entresaca a formar es de cuatro, como resultado del cociente entre el tiempo de paso (16 años) y la periodicidad de las cortas (4 años). Por tanto, cada tramo tendría teóricamente 130 ha (520 ha del monte/4 tramos) si estuviéramos en un caso de calidad (o producción por unidad de superficie) homogénea. Como no es el caso (las producciones varían de 118,7 m³/ha a 96,8 m³/ha en distintas partes del monte), calculamos la producción en la calidad media del monte (P_{med}) y buscaremos que todos los tramos tengan la misma superficie equivalente a esa calidad media.

$$P_{med} = (180 \text{ ha} \cdot 108,1 \text{ m}^3/\text{ha} + 140 \text{ ha} \cdot 118,7 \text{ m}^3/\text{ha} + 200 \text{ ha} \cdot 96,8 \text{ m}^3/\text{ha})/520 \text{ ha}$$

$$P_{med} = 106,6 \text{ m}^3/\text{ha}$$

De donde podemos obtener los tres factores de equivalencia a la calidad media del monte:

$$1 \text{ ha de la zona A} = 108,1/106,6 = 1,014 \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de la zona B y calidad I} = 118,7/106,6 = 1,114 \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de la zona B y calidad II} = 96,8/106,6 = 0,908 \text{ ha de calidad media}$$

Con estos valores ya podemos empezar a formar los tramos, teniendo en cuenta que cada uno de ellos debe tener una superficie equivalente a la calidad media de 130 ha, y que se deben formar y entresacar primero los tramos con la mayor posibilidad expresada en m³/ha (es decir, empezamos por la superficie de calidad I de la zona B, continuamos por la zona A y finalizamos por la superficie de calidad II de la zona B).

TRAMO I. A entresacar en el año actual (año 0) (y en el +16, +32, etc.). Debe tener 130 ha en calidad media, lo que equivale a 116,7 ha (130 ha / 1,114) de calidad I de la zona B (la parte del monte por la que comenzamos a formar los tramos).

Tras esto nos quedan sin asignar 23,3 ha (140 ha - 116,7 ha) de calidad I en la zona B que incorporaremos en el siguiente tramo.

TRAMO II. A entresacar en el año +4 (y en el +20, +36, etc.). En primer lugar entran en este tramo las 23,3 ha que restan de la calidad I de la zona B, y que equivalen (multiplicando por 1,114) a 26,0 ha de calidad media. Por tanto, faltan para formar el tramo 104 ha (130,0 ha - 26,0 ha) equivalentes en calidad media, que deben ser de la zona A (siguiente según establecido), y que equivalen a 102,6 ha ($104 \text{ ha} / 1,014$) de esa zona A.

Tras esto nos quedan sin asignar 77,4 ha (180 ha - 102,6 ha) de la zona A que incorporaremos en el siguiente tramo.

TRAMO III. A entresacar en el año +8 (y en el +24, +40, etc.). En primer lugar entran en este tramo las 77,4 ha que restan de la zona A, y que equivalen (multiplicando por 1,014) a 78,5 ha de calidad media. Por tanto, faltan para formar el tramo 51,5 ha (130 ha - 78,5 ha) equivalentes en calidad media, que deben ser ya de la calidad II de la zona B, y que equivalen a 56,7 ha ($51,5 \text{ ha} / 0,908$) de esa zona y calidad.

Tras esto nos quedan únicamente sin asignar 143,3 ha (200 ha - 56,7 ha) de la calidad II y zona B, que equivalen precisamente a las 130 ha en calidad media ($143,3 \text{ ha} \cdot 0,908$), como no podría ser de otra manera.

TRAMO IV. A entresacar en el año +12 (y en el +28, +44, etc.). Formado por 143,3 ha de la calidad II y zona B.

4.

Para calcular el número de pies a extraer en la primera intervención partimos de los datos de la distribución diamétrica actual en la zona B y calidad II y los de la distribución diamétrica objetivo o ideal para esa zona y calidad determinada en el primer apartado del ejercicio. Los pies a extraer serán la diferencia entre el número de pies en una determinada clase diamétrica de la distribución actual y el número de pies en la siguiente clase diamétrica de la distribución objetivo (que son los que queremos dejar sin cortar para que se incorporen a la siguiente clase diamétrica en la próxima rotación), salvo los casos en que haya déficit de pies, en los que dicha diferencia resultará negativa y no se deberá cortar ningún pie. Los pies que dejemos sin cortar en cada una de las clases diamétricas en el año actual serán precisamente los que se encontrarán en la clase diamétrica inmediatamente superior en la siguiente rotación (16 años después). Suponemos que la regeneración es suficiente para incorporar el número necesario de pies en la primera clase diamétrica según lo previsto en la distribución objetivo (263 pies).

CD (cm)	N° pies/ha objetivo	N° pies/ha año actual	Extracciones año actual (n° pies/ha)	N° pies/ha previstos año +16
10	263	170	0	263
15	175	160	$160-117 = 43$	170
20	117	40	0	117
25	78	80	$80-52 = 28$	40
30	52	100	$100-35 = 65$	52
35	35	7	0	35
40	23	3	0	7
45	15	1	0	3
50	10	0	0	1

Se observa que la distribución diamétrica en el año +16 no es todavía la misma que la objetivo (hay diferencias en las clases diamétricas de 15, 25, 40, 45 y 50 cm), por lo que seguimos haciendo las cortas para buscar ese momento, tal como nos pide el enunciado. Los cálculos los hacemos de manera análoga a la rotación anterior, pero ahora con la distribución proyectada al año +16. La curva objetivo seguirá obviamente siendo la misma.

CD (cm)	N° pies/ha objetivo	N° pies/ha año +16	Extracciones año +16 (n° pies/ha)	N° pies/ha previstos año +32
10	263	263	$263-175 = 88$	263
15	175	170	$170-117 = 53$	175
20	117	117	$117-78 = 39$	117
25	78	40	0	78
30	52	52	$52-35 = 17$	40
35	35	35	$35-23 = 12$	35
40	23	7	0	23
45	15	3	0	7
50	10	1	1	3

No obstante, se podría también optar por no cortar en el año + 16 el único pie de la clase diamétrica de los 50 cm para compensar, en cierta medida, el gran déficit global de pies existente en las clases diamétricas superiores, flexibilizando temporalmente la rígida restricción indicada en el enunciado de no mantener en el monte pies por encima de dicho diámetro.

En cualquier caso, nuevamente en el año +32 sigue habiendo diferencias entre la distribución diamétrica real prevista en el monte y la distribución objetivo (en concreto en las clases diamétricas de los 30, 45 y 50 cm), por lo que seguimos operando de forma análoga en la siguiente rotación a realizar en ese año +32.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	Nº pies/ha año +32	Extracciones año +32 (nº pies/ha)	Nº pies/ha previstos año +48
10	263	263	$263-175 = 88$	263
15	175	175	$175-117 = 58$	175
20	117	117	$117-78 = 39$	117
25	78	78	$78-52 = 26$	78
30	52	40	$40-35 = 5$	52
35	35	35	$35-23 = 12$	35
40	23	23	$23-15 = 8$	23
45	15	7	0	15
50	10	3	3	7

Al igual que comentábamos en la rotación anterior, también se podría optar por no cortar en el año + 32 los tres pies de la clase diamétrica de los 50 cm, para compensar el déficit de pies que existe globalmente en las dos clases diamétricas superiores.

En todo caso, observamos que en el año +48 la distribución diamétrica es prácticamente igual a la objetivo salvo un pequeño déficit en la clase diamétrica de los 50 cm. Realizamos una nueva entresaca y calculamos la distribución prevista para el año +64.

CD (cm)	N° pies/ha objetivo	N° pies/ha año +48	Extracciones año +48 (n° pies/ha)	N° pies/ha previstos año +64
10	263	263	$263-175 = 88$	263
15	175	175	$175-117 = 58$	175
20	117	117	$117-78 = 39$	117
25	78	78	$78-52 = 26$	78
30	52	52	$52-35 = 17$	52
35	35	35	$35-23 = 12$	35
40	23	23	$23-15 = 8$	23
45	15	15	$15-10 = 5$	15
50	10	7	7	10

Donde observamos que en el año +64 la distribución real prevista ya es igual a la objetivo. Por tanto, la entresaca en ese año +64 y en las rotaciones posteriores proporcionará, salvo imprevistos, el mismo número de pies y la misma posibilidad ya calculada en un apartado anterior para el monte ordenado en la calidad I y zona B.

EJERCICIO 9. Un monte de *Abies alba* situado en el Valle de Arán se pretende ordenar mediante entresaca regularizada con cortas cada 4 años, y se conoce que la distribución objetivo para esta especie y zona corresponde a un coeficiente de De Liocourt de 1,7 y un área basimétrica de 25 m²/ha para las clases diamétricas inventariables. Se consideran nueve clases diamétricas inventariables, de anchura 5 cm, desde los 10 hasta los 50 cm, con los siguientes volúmenes unitarios (m³/pie): 0,03, 0,11, 0,17, 0,31, 0,51, 0,80, 1,13, 1,47 y 1,83. Se estima un crecimiento diametral constante de 1 cm cada cuatro años. Se pide:

1. Determinar la distribución objetivo para la gestión del monte ordenado.
2. En una parte del monte se desea modificar el modelo anterior orientando la gestión de la masa hacia la producción de una mayor cantidad de madera gruesa de manera que, manteniendo constantes el área basimétrica y el número de clases diamétricas, la mitad del volumen extraído corresponda a pies de las clases diamétricas de los 40 cm y siguientes. Determinar la distribución diamétrica que conduce a dichos objetivos (suponer el mismo factor de De Liocourt para todas las clases diamétricas) y comparar la posibilidad total y por clases diamétricas de esta curva con la determinada en el apartado anterior.
3. Hace siete años se realizó un inventario en el monte que arrojó una distribución diamétrica que suponemos igual a la de la curva objetivo determinada en el primer apartado. ¿Cómo podemos estimar de una manera preliminar la posibilidad actual en la primera rotación realizando alguna corrección sobre los datos de ese inventario? (sin realizar un nuevo inventario). Suponer que en el momento actual el número de pies en la primera clase diamétrica es el mismo que en la curva objetivo, y que todos los pies en la clase diamétrica de los 50 cm o superiores cubican igualmente 1,83 m³/pie.

SOLUCIÓN

1.

Planteamos la expresión general de la distribución diamétrica objetivo según el modelo de De Liocourt, siendo n el número de pies por hectárea de la clase diamétrica mayor (50 cm), y a el factor de De Liocourt, que en este caso es igual a 1,7. Sabemos también que la sección normal que aporta cada pie (m²/pie) al área basimétrica total es igual a $\pi \cdot (d/200)^2$, donde d es el diámetro normal (en cm) de la clase diamétrica a la que pertenece el pie. Sustituyendo los valores de d y de a y multiplicando las columnas segunda y tercera de la tabla siguiente obtenemos:

CD (cm)	N° pies/ha	m²/pie	m²/ha
10	$n \cdot a^8$	0,00785	$n \cdot 0,54760$
15	$n \cdot a^7$	0,01767	$n \cdot 0,72507$
20	$n \cdot a^6$	0,03142	$n \cdot 0,75840$
25	$n \cdot a^5$	0,04909	$n \cdot 0,69701$
30	$n \cdot a^4$	0,07069	$n \cdot 0,59041$
35	$n \cdot a^3$	0,09621	$n \cdot 0,47268$
40	$n \cdot a^2$	0,12566	$n \cdot 0,36316$
45	$n \cdot a$	0,15904	$n \cdot 0,27037$
50	n	0,19635	$n \cdot 0,19635$

De donde sumando la última columna de la tabla tenemos:

$$n \cdot 4,62104 = 25 \text{ m}^2/\text{ha} \text{ y } n = 5,41 \text{ pies/ha}$$

Y nos queda entonces la siguiente curva de equilibrio (se deben redondear los valores después de haber hecho los cálculos del número de pies para cada clase diamétrica y no antes, para evitar la acumulación de errores por redondeo al ir multiplicando por a en clases diamétricas sucesivas):

CD (cm)	N° pies/ha
10	377
15	222
20	131
25	77
30	45
35	27
40	16
45	9
50	5

Al igual que en el ejercicio anterior, en vez de operar en forma de tabla como acabamos de hacer, también podemos obtener la distribución objetivo a partir de la siguiente función continua de Meyer para la distribución diamétrica en masas irregulares:

$$N_i = K \cdot e^{-q \cdot D_i}$$

$$q = \frac{\ln(a)}{d}$$

Como se dedujo en el ejercicio anterior, el área basimétrica correspondiente a los pies con un diámetro normal entre x e y es en el modelo de Meyer igual a:

$$AB_{x,y} = \frac{-\pi \cdot K}{40000} \cdot \left(e^{-q \cdot y} \cdot \left(\frac{y^2}{q} + \frac{2 \cdot y}{q^2} + \frac{2}{q^3} \right) - e^{-q \cdot x} \cdot \left(\frac{x^2}{q} + \frac{2 \cdot x}{q^2} + \frac{2}{q^3} \right) \right)$$

Donde en este caso $x=7,5$ cm, $y=52,5$ cm, el área basimétrica es de 25 m²/ha y el valor de q es igual a 0,106126 ($\ln(1,7)/5$), de donde resolviendo la ecuación anterior obtenemos que $K=218,88$, quedando el modelo de Meyer para nuestra masa como:

$$N_i = 218,88 \cdot e^{-0,106126 \cdot D_i}$$

Como se dedujo también en el ejercicio anterior, el número de pies existente entre dos diámetros x e y cualesquiera ($N_{x,y}$) viene dado por:

$$N_{x,y} = -\frac{K}{q} (e^{-q \cdot y} - e^{-q \cdot x})$$

Donde dando valores para cada una de las clases diamétricas ($x=7,5$ cm e $y=12,5$ para la clase diamétrica de los 10 cm, $x=12,5$ cm e $y=17,5$ cm para la clase diamétrica de los 15 cm, y así sucesivamente hasta la clase diamétrica de los 50 cm, en la que $x=47,5$ cm e $y=52,5$ cm), y con los valores de K y q arriba determinados, obtenemos la siguiente distribución diamétrica en forma de tabla:

CD (cm)	N° pies/ha
10	383
15	225
20	133
25	78
30	46
35	27
40	16
45	9
50	5

Valores prácticamente idénticos a los hallados anteriormente mediante los cálculos en la modalidad de tablas, salvo alguna diferencia de menor entidad en las clases diamétricas más pequeñas, debidas a los redondeos en los cálculos realizados anteriormente. Los siguientes apartados del ejercicio los resolveremos basándonos en las distribuciones determinadas en el procedimiento de cálculo inicial en forma de tablas, que es el que gran parte de los alumnos habrán seguido por resultar más sencillo para la mayoría de ellos. Por otro lado, los resultados que se obtendrían a partir de estas últimas distribuciones diamétricas son prácticamente idénticos a los que se presentan en los apartados siguientes.

2.

En primer lugar calculamos el volumen a extraer en el conjunto de la masa y en cada una de las clases diamétricas en la curva objetivo que acabamos de determinar para a partir de ahí calcular la proporción del volumen que se extrae de las tres clases diamétricas mayores según ese modelo actual.

CD (cm)	N° pies/ha objetivo	Extracciones (pies/ha)	m³/pie	Volumen extraído (m³/ha)
10	377	155	0,03	4,65
15	222	91	0,11	10,01
20	131	54	0,17	9,18
25	77	32	0,31	9,92

30	45	18	0,51	9,18
35	27	11	0,80	8,80
40	16	7	1,13	7,91
45	9	4	1,47	5,88
50	5	5	1,83	9,15
Total				74,68

De donde tenemos una posibilidad total de 74,7 m³/ha, de los cuales 22,9 m³/ha se extraen de las tres clases diamétricas mayores (40, 45 y 50 cm). Esto representa sólo el 31% del volumen total, claramente por debajo del 50% deseado, por lo que será necesario modificar la curva objetivo para alcanzar lo que indica el enunciado.

Planteamos por tanto el modelo general de la curva de equilibrio según el modelo de De Liocourt en función de n y de a , que en este caso tomarán valores diferentes de los determinados en el apartado anterior.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	m ² /pie	Extracciones (nº pies/ha)	m ³ /pie
10	$n \cdot a^8$	0,00785	$n \cdot a^8 - n \cdot a^7$	0,03
15	$n \cdot a^7$	0,01767	$n \cdot a^7 - n \cdot a^6$	0,11
20	$n \cdot a^6$	0,03142	$n \cdot a^6 - n \cdot a^5$	0,17
25	$n \cdot a^5$	0,04909	$n \cdot a^5 - n \cdot a^4$	0,31
30	$n \cdot a^4$	0,07069	$n \cdot a^4 - n \cdot a^3$	0,51
35	$n \cdot a^3$	0,09621	$n \cdot a^3 - n \cdot a^2$	0,80
40	$n \cdot a^2$	0,12566	$n \cdot a^2 - n \cdot a$	1,13
45	$n \cdot a$	0,15904	$n \cdot a - n$	1,47
50	n	0,19635	n	1,83

La condición de que la mitad del volumen se extraiga de las tres clases diamétricas superiores queda como:

$$1,83 \cdot n + 1,47 \cdot (n \cdot a - n) + 1,13 \cdot (n \cdot a^2 - n \cdot a) = 0,8 \cdot (n \cdot a^3 - n \cdot a^2) + 0,51 \cdot (n \cdot a^4 - n \cdot a^3) + 0,31 \cdot (n \cdot a^5 - n \cdot a^4) + 0,17 \cdot (n \cdot a^6 - n \cdot a^5) + 0,11 \cdot (n \cdot a^7 - n \cdot a^6) + 0,03 \cdot (n \cdot a^8 - n \cdot a^7)$$

De donde dividiendo por n y operando tenemos la siguiente expresión que no depende de n :

$$0,36+0,34 \cdot a+1,93 \cdot a^2-0,29 \cdot a^3-0,20 \cdot a^4-0,14 \cdot a^5-0,06 \cdot a^6-0,08 \cdot a^7-0,03 \cdot a^8 = 0$$

Resolviendo esta ecuación por aproximaciones sucesivas obtenemos $a=1,452$. Cualquiera de estas distribuciones diamétricas que se ajuste a un modelo de De Liocourt con $a=1,452$ proporcionará la mitad del volumen total en las extracciones realizadas en las clases diamétricas de los 40, 45 y 50 cm.

Como además conocemos que deseamos mantener un área basimétrica de 25 m²/ha en el monte, tenemos que:

$$n \cdot a^8 \cdot 0,00785 + n \cdot a^7 \cdot 0,01767 + n \cdot a^6 \cdot 0,03142 + n \cdot a^5 \cdot 0,04909 + n \cdot a^4 \cdot 0,07069 + n \cdot a^3 \cdot 0,09621 + n \cdot a^2 \cdot 0,12566 + n \cdot a \cdot 0,15904 + n \cdot 0,19635 = 25 \text{ m}^2/\text{ha}$$

Que dando el valor de $a=1,452$ y operando queda:

$$2,308 \cdot n = 25 \text{ m}^2/\text{ha}$$

de donde $n = 10,83$

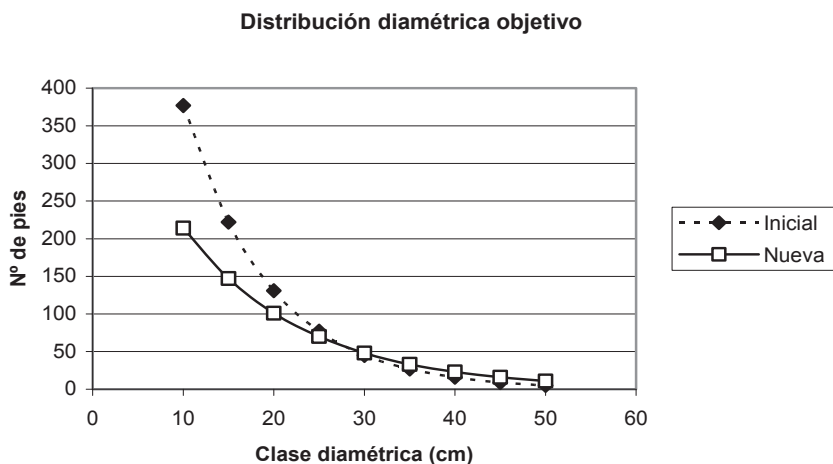
Y la curva diamétrica final queda como se muestra en la tabla siguiente, sobre la que calculamos también, a efectos de comprobación, los volúmenes extraídos en la entresaca:

CD (cm)	Nº pies/ha	Extracciones (pies/ha)	m³/pie	Volumen extraído (m³/ha)
10	214	67	0,03	2,01
15	147	46	0,11	5,06
20	101	31	0,17	5,27
25	70	22	0,31	6,82
30	48	15	0,51	7,65
35	33	10	0,80	8,00
40	23	7	1,13	7,91
45	16	5	1,47	7,35
50	11	11	1,83	20,13
			Total	70,92

Se puede observar que la producción total desciende sólo ligeramente de 74,7 m³/ha en la curva inicial a 70,9 m³/ha en la nueva curva obtenida, compensado por la producción de una mayor cantidad de madera gruesa que puede alcanzar un mayor valor en el mercado.

En la nueva curva obtenida la producción en las clases 10-35 cm y 40-50 cm es prácticamente la misma (34,81 m³/ha y 35,39 m³/ha respectivamente), de acuerdo con lo planteado para obtener dicha curva, salvo las pequeñas diferencias introducidas por los redondeos en el número de pies final en cada clase diamétrica.

La curva diamétrica inicial y la nueva obtenida las podemos comparar gráficamente mediante la siguiente figura, donde se observa que la disminución relativa en el número de pies de las clases diamétricas menores queda compensado (en términos del área basimétrica total) por el mayor número de pies gruesos (menos aparente en términos absolutos) en la nueva distribución objetivo.



3.

Como una estimación sencilla y sólo aproximada de la distribución y posibilidad actual, y de manera preliminar a la realización de un nuevo inventario en la masa, podemos suponer que los pies se distribuyen homogéneamente dentro del rango de diámetros correspondiente a cada una de las clases diamétricas y tener en cuenta que, como se especifica en el enunciado, los pies de la masa presentan un crecimiento diametral constante de 1 cm cada cuatro años. En el periodo de siete años contemplado, ello equivale a un crecimiento de 1,75 cm, frente a los 5 cm de amplitud de las clases diamétricas, de donde podemos estimar (basándonos en el supuesto simplificado anterior) que el 35% de los pies ($100 \cdot 1,75 \text{ cm} / 5 \text{ cm}$) que estaban en cada clase diamétrica hace siete años habrán pasado a la clase diamétrica siguiente en el año

actual. De ahí obtenemos la distribución diamétrica estimada en el año actual que se presenta en la tabla. La curva diamétrica de hace siete años (año -7) es la curva objetivo determinada en el primer apartado del ejercicio, y suponemos que el número de pies en la clase diamétrica de los 10 cm en el año actual es el mismo que el que figura en dicha curva objetivo, tal y como especifica el enunciado.

CD (cm)	Nº pies/ha año -7 (objetivo)	Nº pies/ha que pasan a la clase diamétrica siguiente	Nº pies/ha año actual
10	377	132	377
15	222	78	132+(222-78) = 276
20	131	46	78+(131-46) = 163
25	77	27	46+(77-27) = 96
30	45	16	27+(45-16) = 56
35	27	9	16+(27-9) = 34
40	16	6	9+(16-6) = 19
45	9	3	6+(9-3) = 12
50	5	2	3+(5-2) = 6
>50	0	0	2

A partir de esta distribución diamétrica estimada en el año actual podríamos calcular a modo orientativo la posibilidad que se obtendría al realizar la entresaca.

Si queremos afinar más el cálculo anterior, podemos tener en cuenta que la distribución de los pies con el diámetro no es homogénea (ni entre clases diamétricas diferentes ni dentro de una determinada clase diamétrica) sino que viene dada por un modelo de De Liocourt con factor $a=1,7$, lo que equivale a una curva exponencial negativa o modelo de Meyer según la siguiente expresión:

$$N_i = K \cdot e^{-q \cdot D_i}$$

donde N_i es el número de pies que tienen un diámetro D_i , y K y q son constantes. El valor de q se relaciona directamente con el factor de De Liocourt (a) mediante la siguiente expresión, en la que d es el ancho o intervalo de las clases diamétricas consideradas (obviamente D_i y d deben estar en las mismas unidades, centímetros en este caso):

$$q = \frac{\ln(a)}{d}$$

Como en este caso $a=1,7$ y $d=5$ cm, obtenemos que $q=0,106126$.

El número de pies existente entre dos diámetros x e y ($N_{x,y}$) vendrá dado por la siguiente integral definida de la expresión anterior respecto a D_i :

$$N_{x,y} = \int_{D_i=x}^{D_i=y} K \cdot e^{-q \cdot D_i} \cdot dD_i = -\frac{K}{q} e^{-q \cdot y} + \frac{K}{q} e^{-q \cdot x} = -\frac{K}{q} \cdot (e^{-q \cdot y} - e^{-q \cdot x})$$

En este caso, nos interesa saber qué proporción de los pies en cada clase diamétrica van a pasar a la clase diamétrica siguiente. Teniendo en cuenta que en el periodo de siete años se estima un crecimiento diametral de los pies de 1,75 cm, para una determinada clase diamétrica de los z cm (que abarca desde los $z - 2,5$ cm hasta los $z + 2,5$ cm) dicha proporción es igual al cociente entre el número de pies que se encuentran a menos de 1,75 cm de la siguiente clase diamétrica ($N_{z+0,75; z+2,5}$) (dado que la siguiente clase diamétrica empieza en los $z + 2,5$ cm) y el número de pies totales en esa clase diamétrica ($N_{z-2,5; z+2,5}$). Sustituyendo estos valores en la integral anterior tenemos:

$$\frac{N_{z+0,75; z+2,5}}{N_{z-2,5; z+2,5}} = \frac{-K/q}{-K/q} \cdot \left(\frac{e^{-q \cdot (x+2,5)} - e^{-q \cdot (x+0,75)}}{e^{-q \cdot (x+2,5)} - e^{-q \cdot (x-2,5)}} \right) = \frac{e^{-q \cdot (x+2,5)} - e^{-q \cdot (x+0,75)}}{e^{-q \cdot (x+2,5)} - e^{-q \cdot (x-2,5)}}$$

Operando y sustituyendo el valor de q determinado anteriormente ($q = 0,106126$) obtenemos:

$$\frac{N_{z+0,75; z+2,5}}{N_{z-2,5; z+2,5}} = \frac{e^{-q \cdot x} \cdot e^{-q \cdot 2,5} - e^{-q \cdot x} \cdot e^{-q \cdot 0,75}}{e^{-q \cdot x} \cdot e^{-q \cdot 2,5} - e^{-q \cdot x} \cdot e^{q \cdot 2,5}} = \frac{e^{-q \cdot 2,5} - e^{-q \cdot 0,75}}{e^{-q \cdot 2,5} - e^{q \cdot 2,5}}$$

$$\frac{N_{z+0,75; z+2,5}}{N_{z-2,5; z+2,5}} = \frac{e^{-q \cdot 2,5} - e^{-q \cdot 0,75}}{e^{-q \cdot 2,5} - e^{q \cdot 2,5}} = \frac{-0,156526}{-0,536877} = 0,2915$$

De donde tenemos que el 29% de los pies que inicialmente estaban en una determinada clase diamétrica cabe esperar que hayan pasado a la siguiente clase diamétrica en el año actual (siete años después). Este valor es inferior, aunque no demasiado diferente, al 35% que habíamos utilizado en el cálculo inicial más simplificado.

Aplicando este segundo porcentaje más exacto (29%) nos quedaría la siguiente curva estimada en el año actual:

CD (cm)	N° pies/ha año -7 (objetivo)	N° pies/ha que pasan a la clase diamétrica siguiente	N° pies/ha año actual
10	377	109	377
15	222	64	$109+(222-64) = 267$
20	131	38	$64+(131-38) = 157$
25	77	22	$38+(77-22) = 93$
30	45	13	$22+(45-13) = 54$
35	27	8	$13+(27-8) = 32$
40	16	5	$8+(16-5) = 19$
45	9	3	$5+(9-3) = 11$
50	5	1	$3+(5-1) = 7$
>50	0	0	1

Donde podemos ver que, lógicamente, en esta distribución diamétrica el número de pies estimado en el año actual es ligeramente inferior al estimado mediante el procedimiento anterior, y también será ligeramente menor la posibilidad total estimada a partir de la misma como se muestra a continuación.

CD (cm)	N° pies/ha (35% de paso)	Extracciones (pies/ha)	m³/pie	Volumen extraído (m³/ha)
10	377	101	0,03	3,03
15	276	113	0,11	12,43
20	163	67	0,17	11,39
25	96	40	0,31	12,40
30	56	22	0,51	11,22
35	34	15	0,80	12,00
40	19	7	1,13	7,91
45	12	6	1,47	8,82
50	6	4	1,83	7,32
>50	2	2	1,83	3,66
			Total	90,18

CD (cm)	N° pies/ha (29% de paso)	Extracciones (pies/ha)	m³/pie	Volumen extraído (m³/ha)
10	377	110	0,03	3,30
15	267	110	0,11	12,10
20	157	64	0,17	10,88
25	93	39	0,31	12,09
30	54	22	0,51	11,22
35	32	13	0,80	10,40
40	19	8	1,13	9,04
45	11	4	1,47	5,88
50	7	6	1,83	10,98
>50	1	1	1,83	1,83
			Total	87,72

EJERCICIO 10. Un monte de 570 hectáreas poblado por *Pinus pinea* y situado en la provincia de Valladolid está compuesto por una zona con masas irregulares (cuartel A, 234 ha) y otra con masas regulares y dos calidades diferenciadas (cuartel B, 336 ha), ambas notablemente mejores a la calidad de la estación en el cuartel A. Todo el cuartel A se ajusta ya actualmente a la curva objetivo que se especifica en la tabla y que se pretende gestionar mediante entresaca regularizada, con un tiempo de paso entre clases diamétricas de 12 años y cortas en el cuartel cada 4 años. En el cuartel B adoptamos para ambas calidades un turno de 90 años y un periodo de regeneración de 10 años. Actualmente las masas del cuartel B tienen unas densidades inadecuadas para los objetivos de la producción, y tras las primeras cortas se establecerán y mantendrán masas para las que son válidas las tablas de producción que proporcionan un volumen de la masa principal antes de clara a la edad del turno de 235 m³/ha para la calidad I y 170 m³/ha para la calidad II, y un volumen de la masa total a la edad del turno de 354 m³/ha y 256 m³/ha para esas mismas calidades. Las cortas de aclareo sucesivo uniforme en el cuartel B se realizarán de la siguiente manera: 25% del volumen extraído en las cortas preparatorias (año 0), 50% extraído en las cortas diseminatorias (año +5) y 25% del volumen extraído en las cortas finales (año +9). En los dos cuarteles se pretenden realizar las primeras cortas en el año actual. En las tablas se presentan los resultados de un inventario realizado en el año actual (año 0).

Cuartel A		
CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	m³/pie
10	127	0,04
15	70	0,08
20	39	0,17
25	22	0,30
30	12	0,50
35	6	0,75
40	4	1,00
45	2	1,50

Cuartel B					
Cantón	S (ha)	Calidad	Edad media	Existencias maderables (m³/ha)	Crecimiento corriente (m³/ha-año)
1	22	I	20	51	4,1
2	30	II	10	20	2,6
3	35	II	50	145	3,3
4	16	I	70	203	3,3
5	34	I	85	215	2,5
6	25	II	80	171	2,7
7	38	I	60	183	3,8
8	25	II	40	101	3,6
9	45	I	25	76	4,2
10	36	II	55	151	3,2
11	30	II	45	112	3,6

Se pide:

1. Formar los tramos de entresaca en el cuartel A y los tramos en el cuartel B que sean necesarios para planificar las cortas a realizar en un periodo de 30 años incluyendo el año actual (no formar ningún tramo que corresponda a cortas fuera de ese periodo). En el cuartel B los tramos se desean formar de manera que proporcionen el mismo rendimiento en cuanto a las extracciones procedentes de las cortas de regeneración, aunque se permite un 10% de desviación sobre la equiproductividad si con ello se evita la división de los cantones delimitados en el monte. Indicar también la edad media de corta de cada cantón en el cuartel B.
2. Determinar la posibilidad total en los cuarteles A y B (m³/ha y m³/ha-año) y en el conjunto del monte (m³/ha-año) una vez ordenado según los objetivos de gestión propuestos.
3. Realizar un esquema que indique las extracciones reales procedentes de las cortas de regeneración (m³) que se realizarán cada año en el conjunto del monte en un periodo de 20 años (del año 0 actual al año +19). A la vista de dicho esquema, indicar los años en los que, por no tener que realizarse cortas de regeneración en ninguna de las dos zonas, se podrían dedicar a otras tareas como clareos o claras en el cuartel B o construcción y mejora de las infraestructuras del monte.

SOLUCIÓN

1.

En el cuartel A (masa irregular) tenemos una única curva objetivo, por lo que todas las masas de esa zona tienen la misma posibilidad en el monte ordenado. Por tanto, los tramos de entresaca tendrán todos la misma superficie (dado que con ello ya serán equiproductivos). Como el tiempo de paso es de 12 años y se desea hacer cortas en el cuartel cada 4 años, tendremos que formar 3 tramos de entresaca (12 años / 4 años) equisuperficiales, es decir, con una cabida de 78 ha (dado que el cuartel A completo tiene 234 ha). El tramo de entresaca A-I se cortará en el año actual (y en el +12, +24, +36, etc.), el tramo A-II se entresacará en el año +4 (y +16, +28, +40, etc.) y el tramo A-III en el año +8 (y +20, +32, +44, etc.). Luego en los tres tramos de entresaca se van a realizar cortas en el periodo de 30 años contemplado en la ordenación.

En el cuartel B tenemos un tratamiento de masa regular por aclareo sucesivo uniforme en el que los tramos se formarían con una superficie que sería igual a la de la cabida periódica en el caso de que todo el cuartel tuviera una calidad homogénea. Sin embargo, dado que en el cuartel B hay dos calidades diferenciadas, estos tramos tendrán que ser equiproductivos y no bastará con formarlos equisuperficiales.

Como el periodo de regeneración es de 10 años y el turno es de 90 años, correspondería formar un total de 9 tramos si se planteara una ordenación por el método de tramos permanentes en este cuartel B. Sin embargo, dado que la ordenación tiene un horizonte temporal de 30 años y sólo se plantea formar los tramos en los que corresponde hacer cortas de regeneración en ese periodo, corresponderá formar únicamente 3 tramos (30 años divididos entre los 10 del periodo de regeneración). Suponemos entonces que en el tramo B-I se extraerá toda la masa adulta entre el año actual (año 0) y el año +9, en el tramo B-II las cortas se realizarán entre los años +10 y +19 y en el tramo B-III entre los años +20 y +29.

Cada uno de los tres tramos deberá tener una superficie de 37,3 ha equivalentes en calidad media (336 ha de superficie total del cuartel dividido entre los nueve tramos que correspondería formar en todo el cuartel), pero permitiendo un 10% de desviación sobre la equiproductividad si con ello se evita la división de un mismo cantón entre dos tramos distintos, lo que nos da un intervalo de superficies equivalentes en calidad media de 33,6 (37,3 ha \cdot 0,9) a 41,0 ha (37,3 ha \cdot 1,1).

Para formar los tramos equiproductivos en cuanto a las extracciones procedentes de las cortas de regeneración, calculamos la producción de las cortas finales en la calidad media del monte (P_{med}), sabiendo que en las calidades I y II se tiene un volumen de la masa principal antes de clara (que es la que encontraremos en pie en el monte a la hora de iniciar las cortas de regeneración) de 235 m³/ha y 170 m³/ha a la edad del turno respectivamente. De la tabla de cantones obtenemos que 155 ha corresponden

a la calidad I (cantones 1, 4 5, 7 y 9) y que 181 ha corresponden a la calidad II (cantones 2, 3, 6, 8, 10 y 11).

$$P_{med} = (155 \text{ ha} \cdot 235 \text{ m}^3/\text{ha} + 181 \text{ ha} \cdot 170 \text{ m}^3/\text{ha})/336 \text{ ha} = 200 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Y los factores de paso de cada una de las calidades a la calidad media.

$$1 \text{ ha de calidad I} = 235/200 = 1,175 \text{ ha de calidad media}$$

$$1 \text{ ha de calidad II} = 170/200 = 0,850 \text{ ha de calidad media}$$

En la tabla del inventario de cantones del enunciado no nos indican que haya ningún cantón dañado o cuya regeneración sea urgente por otros motivos, por lo que procederemos a incluir los cantones en el primer tramo y siguientes de acuerdo al criterio de edades decrecientes, incorporando primero aquellos cantones con edades por encima del turno o similares a éste. El primer cantón a incorporar será por tanto el cantón 5, que tiene una edad media actual de 85 años, ya próxima a los 90 años del turno.

Tramo B-I. A cortar entre el año 0 y +9				
Cantón	Calidad	Edad media de corta	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media (ha)
5	I	90	34,0	40,0

Con este cantón queda ya formado el primer tramo, ligeramente por encima de la equiproductividad (que correspondería a 37,3 ha de calidad media) pero dentro de los márgenes establecidos para la superficie equivalente en calidad media (de 33,6 a 41,0 ha). Las cortas de aclareo sucesivo comienzan en el año actual pero se prolongan durante diez años, y habrá pies que se extraigan en el año actual (25%), otros en el año +5 (50%), y otros en el año +9 (25%). En resumen, los pies se extraerán de media aproximadamente en el año +5, con lo que la edad media del arbolado extraído en el cantón 5 será de 90 años (edad media actual más la mitad de años del periodo de regeneración), precisamente la edad del turno.

Seguimos formando el tramo B-II, en este caso incorporando primero el cantón 6, que actualmente tiene una edad de 80 años, y continuando con el cantón 4 (edad actual de 70 años).

Tramo B-II. A cortar entre el año +10 y +19				
Cantón	Calidad	Edad media de corta	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media (ha)
6	II	95	25,0	21,3
4	I	85	16,0	18,8

Con estos dos cantones queda formado el segundo tramo, con una superficie total equivalente en calidad media de 40,1 ha, por encima de la equiproductividad (que correspondería a 37,3 ha de calidad media) pero dentro de los márgenes establecidos para la superficie equivalente en calidad media (de 33,6 ha a 41,0 ha). La masa del cantón 6 se extrae con una edad media ligeramente superior a la del turno, y la del cantón 4 ligeramente inferior a esos 90 años, con un pequeño sacrificio de cortabilidad de sólo cinco años.

De acuerdo al criterio de edades decrecientes el siguiente cantón a incorporar en el tramo B-III es el cantón 7, con una edad actual de 60 años. Sin embargo, no es posible incluir todo el cantón 7 en este tramo B-III, ya que presenta una superficie de 38 ha de calidad I, que equivalen a 44,65 ha de calidad media, por encima del máximo de 41 ha permitido por la tolerancia del 10%, por lo que en este caso optamos por dividir el cantón 7 (una parte se incluirá en el tramo B-III y el resto en un futuro tramo que queda ya fuera del horizonte de planificación). Una vez que vamos a dividir el tramo, tomamos la superficie en calidad media que corresponde exactamente a la equiproductividad (37,3 ha), lo que equivale a 31,7 ha reales de la calidad I (37,3 ha / 1,175).

Tramo B-III. A cortar entre el año +20 y +29				
Cantón	Calidad	Edad media de corta	Superficie real (ha)	Superficie equivalente en calidad media (ha)
7 (parte)	I	85	31,7	37,3

Se observa que el cantón 7 presenta un sacrificio de cortabilidad de tan solo 5 años.

Dentro del horizonte de planificación de 30 años que se especifica en el enunciado ya no corresponde formar más tramos.

2.

La posibilidad en el cuartel A se obtiene a partir de la distribución diamétrica objetivo (que coincide con la distribución actual en el monte), de manera análoga a ejercicios anteriores.

CD (cm)	Nº pies/ha objetivo	Extracciones (nº pies/ha)	m ³ /pie	Volumen extraído (m ³ /ha)
10	127	127-70 = 57	0,04	2,28
15	70	70-39 = 31	0,08	2,48
20	39	39-22 = 17	0,17	2,89
25	22	22-12 = 10	0,30	3
30	12	12-6 = 6	0,50	3
35	6	6-4 = 2	0,75	1,5
40	4	4-2 = 2	1,00	2
45	2	2	1,50	3
			Total	20,15

Lo que da una posibilidad total de 20,15 m³/ha en el cuartel A en cada entresaca realizada. Como el tiempo de paso es de 12 años, ésta equivale a 1,68 m³/ha-año.

En el cuartel B, una vez que el monte esté ordenado conforme a las densidades, tipo de gestión y turno de 90 años que se ha fijado, la posibilidad de regeneración será de 235 m³/ha en las zonas de calidad I y de 170 m³/ha en las de calidad II, y de 200 m³/ha en el conjunto del cuartel B (valor correspondiente a la calidad media calculada en el apartado anterior). Teniendo en cuenta que esa producción se obtiene con un turno de 90 años, esto equivale a una posibilidad de regeneración de 2,22 m³/ha-año en el conjunto del cuartel B ((200 m³/ha) / 90 años). Del mismo modo, si tomamos los volúmenes de la masa total a la edad del turno (que son de 354 m³/ha para la calidad I y de 256 m³/ha para la calidad II), estaremos considerando tanto las extracciones procedentes de las cortas de regeneración como las procedentes de las cortas de mejora, con lo que la posibilidad total en el cuartel B será de 3,35 m³/ha-año (354 m³/ha · 155 ha + 256 m³/ha · 181 ha, dividido por las 336 ha del cuartel B y los 90 años del turno).

Para calcular la posibilidad media en todo el monte (P_{monte} , m³/ha-año), considerando tanto la procedente de las cortas de regeneración como de las cortas de mejora, basta

con calcular la media de las posibilidades de cada uno de los cuarteles que lo forman ponderada por la superficie de los mismos.

$$P_{monte} \text{ (m}^3\text{/ha-año)} = (1,68 \text{ m}^3\text{/ha-año} \cdot 234 \text{ ha} + 3,35 \text{ m}^3\text{/ha-año} \cdot 336 \text{ ha}) / 570 \text{ ha}$$

$$P_{monte} \text{ (m}^3\text{/ha-año)} = 2,66 \text{ m}^3\text{/ha-año}$$

3.

En el cuartel A ya hemos calculado en el apartado anterior las extracciones que se realizan en cada entresaca de acuerdo a la curva objetivo, que son también las que se obtendrán en las primeras intervenciones en el cuartel, dado que las distribuciones diamétricas actuales ya son las de la curva objetivo.

Hemos calculado que en cada entresaca obtenemos 20,15 m³/ha, y sabemos que cada 4 años se entresaca uno de los tramos, teniendo cada tramo una superficie de 78 ha. Por tanto, en cada entresaca se obtendrán 1572 m³, según los tramos y la distribución temporal que se indican en la tabla.

En cuanto al cuartel B, en el periodo de 20 años especificado se harán las cortas de aclareo sucesivo en los tramos B-I y B-II. En este caso, la posibilidad que se obtendrá en dichas cortas de aclareo sucesivo en ese periodo no será igual a la calculada en el apartado anterior para el monte ordenado, por presentar el monte en su estado inicial unas densidades inadecuadas para los objetivos de gestión y unas características diferentes a las masas que se implantarán en el transcurso de la ordenación. Para estimar la posibilidad real de las primeras cortas de regeneración (P_{reg}) a realizar en el tramo B-I aplicamos la siguiente fórmula:

$$P_{reg} \text{ (m}^3 \text{ / año)} = \frac{V_{tr}}{p} + \frac{C_{tr}}{2}$$

Donde V_{tr} (m³) y C_{tr} (m³/año) son respectivamente el volumen y el crecimiento corriente del tramo (obtenidos a partir de los datos del inventario) y p es el periodo de regeneración (igual a 10 años en este caso).

Dado que el tramo B-I está compuesto únicamente por el cantón 5, V_{tr} y C_{tr} son simplemente 7310 m³ (215 m³/ha · 34 ha) y 85 m³/año (2,5 m³/ha-año · 34 ha) respectivamente, de donde P_{reg} resulta igual a 773,5 m³/año. En los 10 años del periodo de regeneración ello corresponde a un total de 7735 m³, distribuidos entre 1933,5 m³ en las cortas preparatorias, 3868 m³ en las cortas diseminatorias, y 1933,5 m³ en las cortas finales, como queda reflejado en la distribución temporal de las extracciones en la tabla siguiente.

El tramo B-II está compuesto por los cantones 6 y 4, pero las cortas de aclareo sucesivo no se empezarán a realizar hasta dentro de diez años. Por tanto, para aplicar

la fórmula anterior en este tramo para el cálculo de su posibilidad de regeneración necesitamos estimar V_{tr} (m^3) y C_{tr} ($m^3/año$) dentro de diez años, al inicio del periodo de regeneración para este tramo. Para ello, y a falta de un nuevo inventario a realizar dentro de diez años, simplemente suponemos constantes y válidos hasta entonces los crecimientos actuales de los dos cantones. De ese modo, el volumen estimado en los cantones 6 y 4 en el año +10 es respectivamente de $198 m^3/ha$ ($171 m^3/ha + 10 años \cdot 2,7 m^3/ha-año$) y $236 m^3/ha$ ($203 m^3/ha + 10 años \cdot 3,3 m^3/ha-año$), de donde, teniendo en cuenta que sus superficies son de 25 y 16 ha:

$$P_{reg} (m^3/año) = (198 m^3/ha \cdot 25 ha + 236 m^3/ha \cdot 16 ha) / 10 + (2,7 m^3/ha-año \cdot 25 ha + 3,3 m^3/ha-año \cdot 16 ha) / 2 = 932,8 m^3/año$$

Durante los diez años del periodo de regeneración ello equivale a $9328 m^3$, distribuidos entre $2332 m^3$ en las cortas preparatorias, $4664 m^3$ en las cortas diseminatorias y $2332 m^3$ en las cortas finales, como queda reflejado en la distribución temporal de las extracciones en la tabla inferior. Para evitar la coincidencia en el mismo año de operaciones de corta en dos tramos diferentes, las primeras cortas de aclareo sucesivo en el tramo B-II se realizarán en el año +10 (cortas preparatorias), al año siguiente de acabar las cortas de aclareo sucesivo en el tramo B-I (en el que se realizan las cortas finales en el año +9).

Año	Extracciones en el cuartel A (y tramo del que proceden)	Extracciones en el cuartel B (y tramo del que proceden)	Extracciones totales
0 (actual)	1572 m ³ (entresaca en tramo A-I)	1933,5 m ³ (cortas preparatorias en tramo B-I)	3505,5 m ³
1			0
2			0
3			0
4	1572 m ³ (entresaca en tramo A-II)		1572 m ³
5		3868 m ³ (cortas diseminatorias en tramo B-I)	3868 m ³
6			0
7			0
8	1572 m ³ (entresaca en tramo A-III)		1572 m ³

9		1933,5 m ³ (cortas finales en tramo B-I)	1933,5 m ³
10		2332 m ³ (cortas preparatorias en tramo B-II)	2332 m ³
11			0
12	1572 m ³ (entresaca en tramo A-I)		1572 m ³
13			0
14			0
15		4664 m ³ (cortas diseminatorias en tramo B-II)	4664 m ³
16	1572 m ³ (entresaca en tramo A-II)		1572 m ³
17			0
18			0
19		2332 m ³ (cortas finales en tramo B-II)	2332 m ³

Con lo que aproximadamente la mitad de los años del periodo (años 1, 2, 3, 6, 7, 11, 13, 14, 17 y 18) quedan libres para realizar otros tratamientos de mejora en las masas o tareas de construcción y mejora de las infraestructuras del monte.

Bibliografía

- DAVIS, L.S., JOHNSON, K.N., BETTINGER, P.S., HOWARD, T.E. 2001. *Forest management. Fourth edition*. McGraw-Hill, Nueva York.
- DUBOURDIEU, J. 1997. *Manuel d'Aménagement Forestier*. Office National des Forêts, Lavoisier Technique et Documentation, Paris.
- DUBOURDIEU, J., PRIETO, A., LÓPEZ-QUERO, M. 1993. *Manual de ordenación de montes*. Editorial Paraninfo, Madrid.
- GONZÁLEZ, J.M., PIQUÉ, M., VERICAT, P. 2006. *Manual de ordenación por rodales*. Centro Tecnológico Forestal de Catalunya, Solsona.
- LEUSCHNER, W.A. 1991. *Introduction to forest resource management*. Krieger Publishing, Florida.
- MACKAY, E. 1944. *Fundamentos y métodos de ordenación de montes (primera parte): conceptos fundamentales. Ordenación teórica*. Escuela Especial de Ingenieros de Montes, Madrid.
- _____. 1949. *Fundamentos y métodos de ordenación de montes (segunda parte): ordenación técnica. Condiciones de aplicación. Inventario dasocrático. Métodos de ordenación*. Escuela Especial de Ingenieros de Montes, Madrid.
- MADRIGAL, A. 1994. *Ordenación de montes arbolados*. ICONA Colección Técnica, Madrid.
- MADRIGAL, A., ÁLVAREZ, J.G., ROJO, A., RODRÍGUEZ, R. 1999. *Tablas de producción para los montes españoles*. Fundación Conde del Valle de Salazar, Madrid.
- MENDOZA, M.A. 1993. *Conceptos básicos de manejo forestal*. Uteha Noriega Editores, México.

Normativa

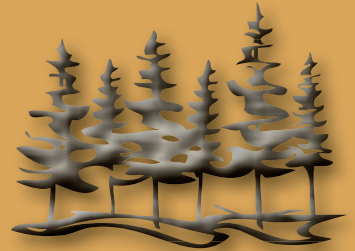
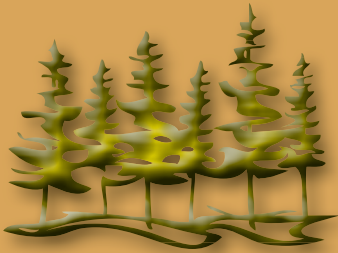
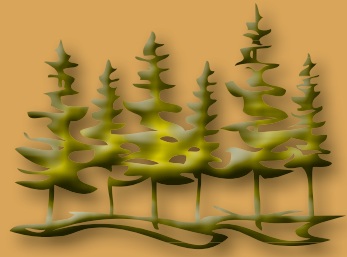
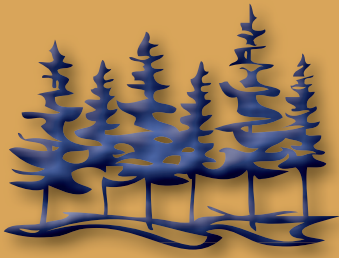
Generalitat de Catalunya, 1994. *Ordre de 20 de juliol de 1994, per la qual es fixen les instruccions generals per a la redacció, l'aprovació i la revisió dels plans tècnics de gestió i millora forestal*. DOGC núm. 1929, de 3-8-1994.

Generalitat de Catalunya, 2003. *Ordre de 18 de setembre de 2003, per la qual es regula el contingut, l'aprovació, la revisió i el seguiment dels plans tècnics de gestió i millora forestal i dels plans simples de gestió forestal*. DOGC núm. 3981, de 6-10-2003.

Junta de Andalucía, 2004. *Orden de 26 de enero de 2004, por la que se aprueban las instrucciones generales para la ordenación de montes de la Comunidad Autónoma de Andalucía*. BOJA núm. 25, de 6-2-2004.

Junta de Castilla y León, 1999. *Decreto 104/1999, de 12 de mayo de 1999, por el que se aprueban las instrucciones generales para la ordenación de los montes arbolados en Castilla y León*. BOCyL 19-5-1999.

Ministerio de Agricultura, 1971. *Instrucciones generales para la ordenación de montes arbolados*. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial, Madrid.



Universitat de Lleida

