



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-626

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Estudio del turno óptimo de *Eucalyptus globulus* en el norte de España

TOLOSANA, E.¹, DÍAZ BALTEIRO, L.¹, LOBO HUICI, E.¹

¹ E.T.S.I. de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid. eduardo.tolosana@upm.es

Resumen

En tratamientos de monte bajo, es común asumir un turno óptimo repetido para los sucesivos ciclos, aunque las diferencias en crecimientos y densidades entre ellos podrían hacer económicamente preferible asumir turnos diferentes. Para analizar esta cuestión, se utiliza la metodología de Faustmann aplicada sobre un modelo de crecimiento de 2006 para las plantaciones gestionadas por NORFOR en Asturias y Lugo, y precios/costes proporcionados por ENCE en 2013. Se estudia también cómo influyen en los turnos óptimos, la densidad de plantación, la tasa de descuento y el precio de la madera. Para un caso base, con calidad de estación intermedia y bajo ciertas hipótesis de crecimiento, los turnos óptimos son 12 años para el primer ciclo, 13 para los dos siguientes y de 13 a 16 para el último. Los parámetros más influyentes sobre el turno son la densidad inicial de plantación y la tasa de descuento. Cambios entre 1100 y 1600 pies/ha producen variaciones de hasta 19 años en el turno total (3-4 ciclos), pudiendo multiplicarse el Valor Esperado del Suelo (VES) varias veces (a favor de las densidades mayores). Modificar la tasa de descuento entre 3 y 7% cambia hasta 13 años el turno total.

Palabras clave

Eucalipto, turno óptimo, VES, Faustmann, monte bajo, modelos de producción.

1. Introducción

La principal especie del género *Eucalyptus* en la Península Ibérica es el eucalipto blanco - *Eucalyptus globulus* Labill.-, que se distribuye en una franja litoral que se extiende desde el occidente de Andalucía hasta el País Vasco, pasando por Portugal, Galicia, Asturias y Cantabria. El eucalipto blanco resulta interesante desde una perspectiva industrial debido a su rápido crecimiento, su adaptabilidad y la aptitud de su madera para diversos usos y aplicaciones, particularmente para la producción de pasta de celulosa de fibra corta. El eucalipto es la madera más demandada por las industrias de celulosa, uno de los sectores más importantes de la industria forestal española, suponiendo más del 50% de la materia prima necesaria.

Aunque la especie se introdujo puntualmente a mediados del Siglo XIX, no fue hasta 1940 cuando se refundó el Patrimonio Forestal del Estado para poner práctica el Plan General de Repoblación Forestal de España (PGRFE), que contribuyó al gran impulso de la repoblación forestal con especies de crecimiento rápido en montes gestionados por el gobierno (RUIZ Y LÓPEZ, 2010). Entre 1940 y 1982 el gobierno registró un total de 273.537 hectáreas de eucalipto plantadas por iniciativa propia. Este área representa el 9,3% del área total reforestada, lo que muestra que la mayoría de las plantaciones se realizaron con especies autóctonas (GIL, 2008). Las plantaciones con especies exóticas - eucaliptos en particular - en montes públicos cayeron dramáticamente desde la transferencia de las competencias forestales a las comunidades autónomas, en 1985.

El segundo INVENTARIO Forestal Nacional (IFN) - 1986/1996 - estima una superficie de 379.852 ha de eucalipto, un 67% de propiedad privada. En el tercer IFN -1997/2009- se estimó en 579.649 hectáreas, un 42% privada. Según el cuarto IFN, sólo publicado en algunas comunidades, en

Galicia la superficie de eucalipto es de 287.983,79 ha, el 87% de propiedad desconocida, asimilable a privada, el 13% restante en montes vecinales en mano común (privados de propiedad germánica).

En cuanto a la gestión de las plantaciones, donde existe se están empleando métodos clásicos de ordenación: domina el método de división por cabida, basado en cortas a hecho, que pretende conseguir una estructura de masa coetánea, un cuartel ordenado en una serie ordenada o graduada de tranzones - unidades selvícolas de corta - (MADRIGAL, 2003). La elección del turno en este tipo de plantaciones es trascendental, pues determinando esta variable se fija de forma inmediata el número de tranzones y su composición, manteniéndose dicho turno durante todo el ciclo de la planta, incluyendo los posteriores rebrotes. Se considera de forma general que la producción en la segunda corta suele ser superior a la producción en la primera, mientras que la tercera corta parece igualar a la de las masas procedentes de semilla y en las cortas sucesivas se produciría una progresiva disminución del volumen.

La gestión mediante estos métodos tradicionales – o la ausencia de gestión - no deja sitio a la utilización de herramientas optimizadoras que permitan una planificación estratégica óptima, realizándose, en numerosas plantaciones, las cortas a edades mayores de las que convendría según criterios económicos y técnico-forestales (DÍAZ-BALTEIRO et al., 2008).

Las producciones actuales de eucalipto se ven mermadas en relación a la potencialidad productiva de estas especies, no sólo por la gestión, sino por otras causas como la distribución de la propiedad; la situación de muchas plantaciones fuera de las mejores zonas para el cultivo de esta especie y las carencias en silvicultura (a las plantaciones no industriales se les aplican tratamientos selvícolas menos intensivos, con preparación del suelo escasa, fertilización insuficiente, densidades inadecuadas, edades de corta erróneas y deficiencias en el control de plagas e incendios, según DÍAZ-BALTEIRO et al., 2008). Se menciona también la repoblación con plantas sin calidad genética, ya que se estima que con material genético mejorado y con una silvicultura adecuada la producción media superaría los 25 m³/ha-año, pudiéndose alcanzar incluso los 50 m³/ha-año (RIESCO, 2007).

El turno óptimo suele definirse como “la vida de la masa forestal que maximiza el valor actual neto de la inversión subyacente, incluyendo el coste de oportunidad de tener el suelo ocupado.” (SECF, 2005). Su optimización fue abordada por FAUSTMANN en 1849 (CASALS, 2005), que propuso un método que consideraba infinitos ciclos de plantación teniendo en cuenta tanto el valor del vuelo como el del suelo. Esta fórmula fue corroborada por SAMUELSON (1976), que especificó que el valor correcto del suelo es aquel que maximiza su renta bajo un régimen óptimo de explotación.

MEDEMA & LYON (1985) desarrollaron un método analítico a partir de la función de producción de la especie para determinar el turno financiero en especies de monte bajo, en que el problema radica en establecer conjuntamente las edades de corta óptimas y el número de rebrotes antes de establecer una nueva masa. La secuencia de edades que maximizara el VAN sería la óptima. Estos autores concluyeron que la duración del ciclo de plantación es distinta si se estudia un único ciclo o múltiples ciclos, siendo en el primero de los casos los turnos más largos.

Con el mismo objetivo, se ha utilizado la programación dinámica (TAIT, 1986) para maximizar el VAN con respecto a todas las posibles decisiones alternativas posibles en cada etapa. Con carácter más general, CHANG (1998) propuso una fórmula basada en la de FAUSTMANN que permite variar la edad de corta de plantación en plantación, considerando variables el precio de la madera en pie, los costes de regeneración, la producción de la madera o la tasa de descuento, basándose también en la programación dinámica, si bien se adecuaba más al método de beneficio de monte alto.

En DÍAZ-BALTEIRO y RODRÍGUEZ (2006) se analiza la secuencia óptima de corta de *Eucalyptus globulus* teniendo en cuenta las variaciones por las primas que se producen por la captura de carbono para cada una de ellas, con base en la metodología de FAUSTMANN, introduciendo

procedimientos de programación dinámica y simulación tipo Monte Carlo. Este trabajo sólo se centra en la producción de madera, objetivo principal de las plantaciones de la especie en nuestro país.

2. Objetivos

- Estimar el turno óptimo en una masa de *Eucalyptus globulus* L. gestionada en monte bajo para un mayor rendimiento económico. No sólo se trata de estimar el turno, sino de determinar el número de rebrotes y la duración de los intervalos entre las cortas de recepe óptimos.

- Analizar cómo se modifica ese turno ante cambios en los parámetros densidad de plantación, tasa de descuento y precio de la madera.

El estudio del turno óptimo se pretende realizar para diferentes situaciones en cuanto a la calidad de estación - dos calidades diferentes- y el modelo de aprovechamiento - manual o mecanizado-.

3. Metodología

La base de estimación de crecimientos ha sido un modelo de masa o de rodal completo y de densidad variable elaborado a partir de inventarios bienales entre 1995-96 y 2005-2006 sobre 84 parcelas permanentes, en su mayoría pertenecientes al patrimonio de ENCE, situadas en Asturias (sobre todo, en el occidente) y en la Mariña lucense (LÓPEZ DE DIEGO et al., 2006).

Dentro del modelo, se han escogido las calidades de estación I y III, correspondientes a alturas dominantes de 26 y 18 m, respectivamente, a la edad índice de 10 m, y las densidades correspondientes a densidades iniciales de plantación de 1.600 y 1.100 pies/ha (consideradas límite inferior y superior para la especie según RUIZ et al., 2008), obteniendo las correspondientes tablas de producción para permitir la valoración de los ingresos por la venta de madera.

El volumen que proporcionan estas tablas es el volumen sin corteza. Debido a que los precios utilizados están establecidos para el volumen con corteza, se ha realizado la conversión a volumen con corteza mediante la siguiente expresión (TOLOSANA et al., 2004), ajustada con datos del mismo origen.

$$V_{cc} = 4,49924 + 0,37523 \cdot G \cdot H_0 - 0,003970 \cdot N \quad (1)$$

Donde V_{cc} = volumen con corteza; G = área basimétrica, en m^2/ha ; H_0 = altura dominante, en m, y N = número de pies totales/ha.

Una vez derivada la tabla de producción con los volúmenes en m^3 cc, se dispone del volumen para la primera rotación, es de decir, para la etapa de brinzal. Hay que tener en cuenta que el rango de edad del modelo va desde los 3 años hasta los 16, y que para la optimización es necesario estimar los volúmenes de un rango de edad más amplio -desde el año 0 (plantación) hasta edades superiores a los 16. Para esta extrapolación, se ha ajustado un polinomio de regresión a partir de los volúmenes con corteza para cada calidad y densidad de plantación.

En cuanto a la producción de los chirpiales, en ausencia de información empírica de la zona estudiada, se ha supuesto que la producción del primer rebrote es un 20% mayor que la producción inicial tras la plantación, la producción del segundo rebrote se ha considerado igual que la etapa de brinzal y la del tercero se ha estimado que es un 20% menor que la primera, de acuerdo con el criterio de técnicos que han trabajado en el patrimonio de ENCE en la zona de estudio (FERNÁNDEZ-CARRO, 2014).

Además de las calidades de estación y densidades de plantación mencionadas, se han estudiado otras dos variables para valorar su influencia sobre los turnos óptimos: el precio “en pie” de la madera, calculado dependiendo de las características del monte y del grado de mecanización del aprovechamiento¹ según la tarifa ENCE de eucalipto para el norte de España (€/t cc) para acuerdos de compra venta “a resultas” – en que el pago final estará sujeto a que se mida de forma definitiva una vez apeados los árboles - y la tasa de descuento, que se ha hecho variar entre el 3% y el 7%.

El precio calculado mediante la tarifa se ha transformado en precio por metro cúbico con corteza usando la densidad del eucalipto en verde cuyo valor es de 1,15 t/m³ cc (TOLOSANA et al., 2004). Para valorar la influencia de los cambios en el precio “en pie”, se ha hecho variar el mismo, para los valores medios del resto de parámetros que influyen en su determinación por las citadas tarifas, según las condiciones del monte para su aprovechamiento entre las categorías A, B y C, de acuerdo con los criterios dicha tarifa de ENCE (2014). Esta calidad característica de cada monte se obtiene mediante la suma de las puntuaciones de las variables de cantidad de madera por ha, distancia de desembosque, densidad de pistas, limpieza, tipo de masa y pendiente (ENCE, 2014). El rango de precios obtenidos oscila, por ejemplo, para calidad de estación III y densidad de plantación 1.100 pies/ha, dependiendo de la calidad del monte y de si la corta es mecanizada o no, entre 23,58 €/m³ (monte de calidad C – peor – y aprovechamiento manual con motosierra) hasta 28,46 €/m³ (monte de calidad A – mejor – y aprovechamiento mecanizado).

También se ha tenido en cuenta para el cálculo del turno óptimo los trabajos culturales que se realizan a la masa durante todo el ciclo, y sus correspondientes costes a lo largo de toda la vida de la plantación, de acuerdo con la información proporcionada por el técnico de ENCE FERNÁNDEZ CARRO (2014) y que se refleja en la Tabla 1.

Se define el valor esperado del suelo –VES– como el valor actual neto –VAN– de un suelo desnudo destinado perpetuamente a la producción de madera de la misma especie, con el mismo tipo de gestión y sujeto a las mismas restricciones –ecológicas, legales administrativas, y económicas– (PRIETO et al., 1998). En este estudio, queda definido de la siguiente manera:

$$VES = \frac{\sum VAN_Z}{1 - e^{-iT}}$$

Donde T es el turno del ciclo constituido por la suma de los turnos de cada etapa t_k , de tal manera que $T = \sum t_k$. El término VAN_Z es el valor actual neto asociado a cada corta final con independencia de si la masa procede de plantación o de rebrote. La suma del numerador el valor actualizado neto correspondiente a cada rotación descontado al año 0. En este caso, Z indica el número de cortas antes de que se inicie el nuevo ciclo de monte alto, por tanto, los valores que puede tomar Z depende del número de rebrotes que se considere óptimo aprovechar en la plantación, así, teniendo en cuenta que en este trabajo se consideran un máximo de tres rebrotes después de la fase de monte alto, debido a la pérdida de vigor del eucalipto a partir del segundo rebrote, Z puede tomar valores que van desde el 1 –correspondiente a la etapa de monte alto o brinza– hasta el 4 –correspondiente al tercer y último rebrote considerado en este estudio–.

La forma de encontrar la solución óptima del problema, es decir, de encontrar el número de rebrotes óptimo y su duración, consiste en encontrar dentro de cada etapa la edad que maximiza el VES, y una vez determinada, establecer una horquilla de edades con las que luego se va a determinar

¹ Según la Tarifa de ENCE, se produce un sobrepeso en los montes en que se mecaniza el aprovechamiento, de 2 €/tonelada cc.

el VES máximo que combina todas ellas. En el caso de este trabajo se ha estimado el valor esperado del suelo de manera independiente en la etapa de monte alto como en los tres rebrotes siguientes.

Tabla 1. Secuencia (en el año t) y coste de los cuidados culturales para las alternativas de aprovechamiento manual y mecanizado, tanto para brinzal como para chirpial, con las dos densidades iniciales consideradas.

Aprovechamiento manual				
	t	Proceso	Coste (€/hectárea)	
			1600 p/ha	1100/p/ha
Brinzal	0	Plantación	2566	1858
	2	Desbroce manual a hecho	600	600
	3	Desbroce químico manual a hecho (mangueras) *cada 5 años	250	250
	3	Lucha biológica *cada 4 años	35	35
	5	Mantenimiento pistas y cortafuegos *después cada 5 años	50	50
Chirpial	3	Desbroce manual a hecho	600	600
	3	Selección de brotes	270	200
	4	Lucha biológica *cada 4 años	35	35
	4	Desbroce químico manual a hecho (mangueras) *cada 5 años	250	250
	5	Mantenimiento pistas y cortafuegos *después cada 5 años	50	50
Aprovechamiento mecanizado				
	t	Proceso	Coste (€/hectárea)	
			1600 p/ha	1100/p/ha
Brinzal	0	Plantación	2346	1888
	2	Desbroce mecánico por calles	180	180
	2	Desbroce mecánico por líneas	190	190
	3	Desbroce químico mecanizado calle continua	220	220
	3	Lucha biológica *cada 4 años	35	35
	5	Mantenimiento pistas y cortafuegos *después cada 5 años	50	50
	8	Desbroce químico mecanizado calle alterna *después cada 5 años	180	180
Chirpial	3	Desbroce mecánico por calles	180	180
	3	Desbroce mecánico por líneas de pendiente	190	190
	3	Selección de brotes	270	200
	5	Desbroce químico mecanizado calle continua	220	220
	5	Lucha biológica *cada 4 años	35	35
	6	Mantenimiento pistas y cortafuegos *después cada 5 años	50	50
	9	Desbroce químico mecanizado calle alterna *después cada 5 años	180	180

4. Resultados

4.1 Caso base.

En este apartado se presentan los resultados para un caso base, que responde a las siguientes condiciones representativas de un aprovechamiento de condiciones medias:

- Tasa de descuento del 5%
- Aprovechamiento manual y mecanizado
- Calidad de estación III (intermedia de las 5 establecidas por LÓPEZ DE DIEGO et al., 2006)
- Calidad característica del monte intermedia, considerando las variables de cantidad de madera por ha, distancia de desembosque, densidad de pistas, limpieza, tipo de masa y pendiente. Los precios correspondientes en la Tabla de Precios de ENCE (2014) serían $P_{MAN}=24,73 \text{ €/m}^3\text{cc}$ para el aprovechamiento manual y el $P_{MEC} = 27,03 \text{ €/m}^3\text{cc}$ para el mecanizado.

Para ambos tipos de aprovechamiento, el turno total óptimo del ciclo (T) se estima en 51 años. El turno del brinzal (primera rotación) es el más bajo, la primera corta se debe realizar a los 12 años. Para los tres rebrotes siguientes el turno de cada rotación es de 13 años. Se reflejan en la Tabla 2 estos resultados y los correspondientes Valores Esperados del Suelo.

Tabla 2. Turnos totales y de los recepes y Valor Esperado del Suelo para el caso base, las dos densidades consideradas y los casos de aprovechamiento manual y mecanizado.

CALIDAD III – 1.600 p/ha								
	i	P (€/m ³ c/c)	t ₁ ^a rot.	t ₂ ^a rot.	t ₃ ^a rot.	t ₄ ^a rot.	T	VES (€/ha)
Manual	0,05	24,73	12	13	13	13	51	894,36
Mecanizado	0,05	27,03	12	13	13	13	51	2.297,69
CALIDAD III – 1.100 p/ha								
Manual	0,05	24,73	12	13	13	13	51	-975,35
Mecanizado	0,05	27,03	12	13	13	13	51	-94,56

En esta tabla se aprecia que las densidades inferiores de plantación empeoran la rentabilidad en comparación con densidades clásicas correspondientes a marcos de 2x3 m, arrojando valores negativos del VES incluso con el bonus en el precio correspondiente a la corta mecanizada.

4.2 Influencia de la calidad de estación.

En la Tabla 3 se reproduce la optimización para la Calidad de estación I (la mejor calidad de las cinco definidas por LÓPEZ DE DIEGO et al., 2006). Se aprecia que los turnos totales, y tanto del brinzal como para los sucesivos recepes, se acortan. De acuerdo con las hipótesis de partida, dejaría de ser económicamente interesante el aprovechamiento de un tercer recepe. Los valores esperados del suelo, como corresponde a los mayores crecimientos relacionados con una mejor calidad de estación, se incrementarían notablemente.

En todo caso, continuaría siendo inferior (aunque positivo en este caso) el valor del VES para densidades de plantación inferiores frente a la considerada de 1.600 pies por hectárea.

Tabla 2. Turnos totales y de los recepes y Valor Esperado del Suelo para el caso de calidad de estación I, las dos densidades consideradas y los casos de aprovechamiento manual y mecanizado.

CALIDAD I - 1600 p/ha								
	i	P (€/m ³ c/c)	t ₁ ^a rot.	t ₂ ^a rot.	t ₃ ^a rot.	t ₄ ^a rot.	T	VES (€/ha)
Manual	0,05	24,73	9	11	11	0	31	10.045,06
Mecanizado	0,05	27,03	7	11	8	0	26	12.457,01
CALIDAD I - 1100 p/ha								
Manual	0,05	24,73	10	13	13	0	36	4.344,94
Mecanizado	0,05	27,03	9	12	11	0	32	5.744,20

4.3 Influencia del tipo de descuento.

Para la densidad de plantación inferior y ambas calidades de estación, se representa el efecto de variar los tipos de descuento entre el 3 y el 7% en la Tabla 3. El aumento en los tipos de descuento hace descender el VES y acorta los turnos, pudiendo hacer que sea interesante aprovechar el tercer rebrote, incluso para las calidades de estación mejores. Por ejemplo, para la CALIDAD I, aunque en montes de condiciones medias no sería conveniente aprovechar el tercer rebrote desde el punto de vista económico para ninguno de los valores de la tasa de descuento para el aprovechamiento mecanizado, en el caso del aprovechamiento manual el aprovechar tercer rebrote optimiza el VES para la tasa de descuento máxima del 7%. Por el contrario, para la CALIDAD III, en el caso de llevarse a cabo un aprovechamiento manual, se ha de considerar siempre el tercer rebrote. Sólo si el aprovechamiento de la masa fuera mecanizado el tercer rebrote no se consideraría para la tasa de descuento mínima del 3%.

Tabla 3. Influencia de la tasa de descuento para ambas calidades, aprovechamiento manual y mecanizado y densidad de plantación máxima considerada (1.600 pies/ha).

1.600 p/ha - APROVECHAMIENTO MANUAL													
Turno económicamente óptimo (años)											VES (€/ha)		
CALIDAD I					CALIDAD III								
i (%)	1 turno	2 turno	3 turno	4 turno	Total	1 turno	2 turno	3 turno	4 turno	Total	CALIDAD I	CALIDAD III	
3	10	13	12	0	35	12	13	13	13	51	21.350,39	4.304,98	
4	9	12	11	0	32	12	13	13	13	51	14.210,12	2.186,49	
5	9	11	11	0	32	12	13	13	13	51	10.045,06	894,36	
6	7	11	8	0	26	12	13	13	13	51	7.364,23	22,41	
7	7	8	8	8	31	10	13	13	13	49	5.551,41	-591,39	
1.600 p/ha - APROVECHAMIENTO MECANIZADO													
3	9	13	11	0	33	12	13	13	0	38	25.314,02	6.620,37	
4	9	11	11	0	31	12	13	13	13	51	17.205,11	3.923,68	
5	7	11	8	0	26	12	13	13	13	51	12.457,01	2.297,68	
6	7	10	8	0	25	10	13	13	13	49	9.396,63	1.233,43	
7	7	8	8	0	23	9	11	12	13	45	7.271,36	501,15	

4.3 Influencia del precio.

Se utilizan los precios de la Tarifa de ENCE de eucalipto para el Norte de España, correspondientes al escenario base y a sus valores para montes de condiciones mejores, intermedias y peores para el aprovechamiento (en cuanto a peso de la corta por ha, densidad de pistas, distancia de desembosque, limpieza, tipo de masa y pendiente). De este modo, los resultados se pueden interpretar, para una masa determinada, como la influencia de una subida o bajada sobre un precio base, pero también, a igualdad de precios, como la influencia sobre los turnos de unas peores o mejores condiciones para el aprovechamiento.

Las variaciones consideradas de precios no provocan grandes cambios en el turno total, estos cambios no superan los 4 años para el caso base. A menores precios de la madera (o peores condiciones del monte para el aprovechamiento), los turnos se alargan ligeramente para todas las situaciones, como se puede apreciar en la Tabla 4.

		CALIDAD III - APROVECHAMIENTO MANUAL											
		Turno económicamente óptimo (años)										VES (€/ha)	
		1.100 p/ha					1.600 p/ha						
i (%)	Precio (€/m ³ cc)	1 turno	2 turno	3 turno	4 turno	Total	1 turno	2 turno	3 turno	4 turno	Total	1.100 p/ha	1.600 p/ha
5	26,16	12	13	13	13	51	12	13	13	13	51	1.253,5	-773,3
	24,73	12	13	13	13	51	12	13	13	13	51	894,4	-975,4
	23,58	12	13	13	13	51	12	13	13	16	54	607,0	-1.136,7
		CALIDAD III - APROVECHAMIENTO MECANIZADO											
5	28,46	11	13	13	13	50	12	13	13	13	51	2.659,0	107,5
	27,03	12	13	13	13	51	12	13	13	13	51	2.297,7	-94,6
	25,88	12	13	13	13	51	12	13	13	13	51	2.010,4	-256,2

Lógicamente, al reducirse los precios (o empeorar las condiciones del monte para el aprovechamiento), se reduciría el VES.

5. Discusión

Si se comparan estos resultados con los obtenidos en DÍAZ-BALTEIRO y RODRÍGUEZ (2006), estudio en el que se analizaba el turno óptimo en plantaciones de eucalipto en Brasil y España teniendo en cuenta la captura de carbono, se puede observar que las tendencias en cuanto a la influencia de los factores considerados son análogas.

En cuanto a la influencia de la densidad de plantación, en casos en los que las dimensiones de la madera no suponen una limitación se puede aceptar que una densidad alta de cultivo tiende a producir un volumen final mayor. En el presente caso, se ha determinado que la densidad mayor de 1.600 pies/ha da mejores resultados que la de 1.100 pies/ha tanto en la duración del turno como en el valor del VES aunque hay que señalar que existen estudios en los que densidades mayores no suponen mejoras en el volumen. De esta manera y como se indica en GONZÁLEZ RÍO et al. (1998), a la hora de determinar un marco de plantación se ha de tener en cuenta factores limitantes en cada

estación que desencadenan procesos de competencia de distinta naturaleza y que influyen en gran medida en la relación entre la densidad y el volumen total.

En relación a la variación del precio de la madera, la duración del ciclo no se ve afectada de manera importante de manera general, al igual que en otros trabajos en que las variaciones de precios no provocan cambios considerables en la duración óptima del ciclo (DÍAZ-BALTEIRO, 2008). De todos modos, las diferencias registradas hacen patente el cumplimiento del análisis habitual de estática comparativa asociado al paradigma de Faustmann que indica que a mayores precios, menor duración del régimen óptimo (DÍAZ-BALTEIRO y RODRÍGUEZ, 2006).

Estos autores comparan dos casos de plantaciones con distintas productividades. En los casos españoles, se puede comprobar que, al igual que en este trabajo, los turnos se acortan si mejora la calidad de estación, y se alargan a medida que se aumenta la tasa de descuento. Además, con respecto al VES, también se observan diferencias a medida que se aumenta la tasa de descuento - ya que el VES responde negativamente a aumentos en la tasa de descuento - y también en función de la productividad. Esto último viene dictaminado, ya que en casos en los que la productividad de las plantaciones es menor - en el caso de este trabajo, como se ha recogido a través de las variaciones en la calidad de estación - el VES va a ser menor debido a las diferencias de volumen que se van a ver reflejadas en los ingresos por hectárea a la hora de la venta de la madera.

6. Conclusiones

La metodología aplicada, basada en la fórmula de FAUSTMANN, ha permitido obtener diferentes turnos óptimos dependiendo del caso analizado. Para el caso base elegido (calidad de estación intermedia, tasa de descuento del 5% y precio medio dependiendo de las condiciones del monte entre 24,7 €/m³cc y 27,0 €/m³cc), el turno óptimo calculado para el conjunto de ciclos de recepe es de 51 años, tanto para el aprovechamiento manual como para el mecanizado, que recibe en ese último caso - tarifas de ENCE - un precio mayor en 2 €/tonelada cc. Dentro de ese caso base, la mejor de las situaciones es la que presenta una duración de los ciclos de 12 años para la primera rotación y 13 para las tres rotaciones siguientes (51 años de duración para el turno total T), ya que el modelo considera conveniente aprovechar el tercer rebrote. En ella, para una densidad de plantación de 1.600 pies/ha y aprovechamiento mecanizado, se obtiene un valor del VES de 2.298 €/ha.

Cuando la calidad de estación es mejor (calidad I del modelo de LÓPEZ DE DIEGO et al., 2006), los turnos se acortan (entre 26 y 36 años para el total del ciclo) y, para las condiciones medias asumidas, no resulta económicamente interesante el aprovechamiento del tercer rebrote. Para una densidad de plantación de 1.600 pies/ha y aprovechamiento mecanizado, se obtiene un valor del VES de 12.457 €/ha.

Es de señalar que existe un grado de incertidumbre en las producciones asumidas para las rotaciones correspondientes al segundo y posteriores rebrotos, basados en normas empíricas sin un fundamento experimental (dada la ausencia de modelos de producción para chirpiales fiables en la zona de referencia). El ajuste de tales modelos permitiría afinar considerablemente los resultados, ajustándolos con más certeza a la realidad.

En cualquier caso, este método permitiría adecuar la edad de corta a las plantaciones de eucalipto más allá de la práctica actual, ya que en varios casos se han obtenido turnos de recepe inferiores a 12 años, por debajo de la horquilla de edades que se considera óptima - 12 a 17 años - para la corta de las rotaciones en las plantaciones de eucalipto. La horquilla de años más favorable para las rotaciones en este tipo de plantaciones, según este estudio, varía desde los 7 a los 18 años. Además, aunque en numerosos casos los turnos calculados sí se encuentran dentro del rango de edad recomendado, también se refleja que la duración de las rotaciones de los ciclos de plantación

no tiene por qué ser igual, ni tampoco el número de rotaciones entre plantaciones, dependiendo siempre de los parámetros que afectan al turno óptimo.

Con respecto a las variables consideradas para la estimación del turno óptimo, las variaciones consideradas en el precio de la madera no influyen de manera importante en la duración óptima del ciclo, pudiendo ser un poco mayores los turnos a precios de la madera más bajos, pero conservándose en general el número de rebrotes.

Sí se considera relevante la densidad de plantación, como uno de los factores que más hacen variar el turno óptimo y sobre todo la rentabilidad de la inversión. Para la densidad de 1.600 pies/ha se han obtenido diferencias de hasta 5 años entre rotaciones, llegando a turnos totales con una diferencia de hasta 19 años con respecto a los correspondientes a una densidad de 1.100 pies/ha. Por tanto, a mayor densidad, el algoritmo – basado en un modelo de producción para Asturias y la Mariña lucense (LÓPEZ DE DIEGO et al., 2006) – proporciona una menor duración del turno óptimo y menor o igual duración de cada rotación. Además, la densidad de plantación influye fuertemente en la rentabilidad de la plantación, pudiendo llegar a alcanzar el VES de la densidad de plantación de referencia de 1.600 pies/ha valores dos veces superiores a los de la densidad de referencia de 1.100 pies/ha -.

Atendiendo a cambios en la tasa de descuento, a mayores tasas de descuento la duración de cada rotación se acorta y puede aumentar el número de rotaciones óptimas. No se aprecia esta misma tendencia al evaluar el turno total de la plantación, ya que la necesidad de recurrir o no al tercer rebrote hace variar mucho su duración. Cambios en la tasa de descuento entre 3 y 7% acortan hasta 13 años el turno total.

Debido al sobreprecio proporcionado para los aprovechamientos mecanizados por las tablas de precios de referencia (ENCE, 2014) y a la diferencia de costes de trabajos intermedios, el aprovechamiento mecanizado influye de manera positiva tanto en la duración del turno – acortándolo - como en el valor final del VES –aumentando dicho valor -. Ello está también relacionado con otras condiciones favorables al aprovechamiento – mayor peso de la corta, mayor densidad de pistas, menor distancia de desembosque, mayor limpieza y menor pendiente – que, en la medida en que hacen subir el precio en las citadas tablas de referencia, acortan los turnos y aumentan el VES.

7. Bibliografía

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE PASTA, PAPEL Y CARTÓN, ASPAPEL; 2013. Informe estadístico 2013. Madrid, 50 pág. Disponible en: http://aspapel.es/sites/default/files/adjuntos/doc_360_1.pdf

CASALS COSTA, V.; 2005. El turno forestal, la propiedad de los montes y la recepción de la fórmula de Faustmann en España, 1849-1918. Scripta Nova Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Vol. 9. Disponible en: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn182.htm>

CHANG, S.J.; 1998. A generalized Faustmann model for the determination of optimal harvest age. Can J Forest Res 28: 652-659.

DIAZ-BALTEIRO, L.; RODRIGUEZ, L. C. E.; 2006. Optimal rotations on *Eucalyptus* plantations including carbon sequestration. A comparison of results in Brazil and Spain. Forest Ecol Manag, 229: 247-258.

DÍAZ-BALTEIRO, L.; BERTOMEU, M.; GIMÉNEZ, J.C.; 2008. Gestión óptima de *Eucalyptus globulus* en Galicia. III Congreso de la Asociación Hispano-Portuguesa de Economía de los Recursos Naturales y Ambientales. Palma de Mallorca. Disponible en: <http://docplayer.es/9757082-Gestion-optima-de-eucalyptus-globulus-en-galicia.html>

ENCE; 2014. Tarifas de precios (sustituidas en la actualidad por las de Julio de 2015, disponibles en https://www.ence.es/images/Forestal/20150608_TARIFAS_MADERA_ENCE_WEB.pdf).

FAUSTMANN, M.; 1849. Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine. Forst und Jagd Zeitung. 15. Reimpreso en FAUSTMANN, M.; 1995. Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. J For Econ I: 7-44.

FERNÁNDEZ CARRO, O.; 2014: Comunicación personal sobre prácticas selvícolas en la gestión de eucaliptares cantábricos y sus costes.

GONZÁLEZ-RÍO, F.; CASTELLANOS, A.; FERNÁNDEZ, O.; ASTORGA, R.; GÓMEZ, C.; 1998. El cultivo del eucalipto en la cornisa Cantábrica. Manual de selvicultura práctica. Edita: KRK Ediciones. Celulosas de Asturias S.A. 107 pág. Navia (Asturias).

GIL, L.; 2008. Pinares y Rodenales. La diversidad que no se ve. Real Academia de la Ingeniería. 163 pág. + referencias. Madrid.

LÓPEZ DE DIEGO, T.; GONZÁLEZ DONCEL, I.; TOLOSANA, E.; 2006. Estudio de calidad, producción y cubicación de *Eucalyptus globulus* en Asturias y Galicia. Norfor-U.P.M., Informe técnico inédito. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/312496856_ANALISIS_DE_LA_PRODUCCION_Y_TABLAS_DE_CUBICACION_PARA_BRINZAL_DE_EUCALYPTUS_GLOBULUS_EN_EL_PRINCIPADO_DE_ASTURIAS_Y_LA_MARINA_LUCENSE_2006 (DOI: 10.13140/RG.2.2.32885.37604)

MADRIGAL, A.; 2003. Ordenación de montes arbolados (2ª Edición). Organismo Autónomo Parques Nacionales. Naturaleza y Parques nacionales, Serie Técnica, Madrid.

MEDEMA, E.L.; LYON, G.W.; 1985. The determination of financial rotation ages for coppicing tree species. For Sci. 31: 398-404.

PRIETO, A.; DÍAZ-BALTEIRO, L.; HERNANDO, A.; 1998. Valoración de montes arbolados (1ª parte). CT-Catastro, 33: 65-82.

RIESCO, G.; 2007. Aspectos particulares de la ordenación de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.). Bol CIDEU, 3: 171-180.

RUIZ, F.; LÓPEZ, G.; TOVAL, G.; ALEJANO, R.; 2008. Selvicultura de *Eucalyptus globulus* Labill. En: Serrada, R., Montero, G. y Reque, J.A. (Eds.). Compendio de Selvicultura Aplicada en España. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA), Madrid: pág. 117-154.

RUIZ, F.; LÓPEZ, G.; 2010. History of Eucalyptus, Present Situation and Utilization en GIL, L. TADESSE, W. TOLOSANA, E & LÓPEZ, R. Eds. *Eucalyptus* Species Management. History, Status and Trends in Ethiopia. 409 pág. Addis Abeba (Etiopía).

SECF – Sociedad Española de Ciencias Forestales; 2005. Diccionario Forestal. Ediciones Mundiprensa. 1314 pág. Madrid.

SAMUELSON, P.; 1976. Economics of forestry in an evolving society. *Econ Inq* 14: 466-254.

TAIT, D.E.; 1986. A dynamic programming solution of financial rotation ages for coppicing tree species. *Can J Forest Res* 16: 799-801.

TOLOSANA, E.; LÓPEZ DE DIEGO, T.; MARTÍNEZ MILLÁN, F. J.; 2004. Estudio de calidad, producción y cubicación de *Eucalyptus globulus* en Asturias y Galicia. 1. Análisis de la producción y tablas de cubicación para brinzal de *Eucalyptus globulus* en el Principado de Asturias y la Mariña lucense. Informe técnico (inédito). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312553588_ANALISIS_DE_LA_PRODUCCION_Y_TABLAS_DE_CUBICACION_PARA_BRINZAL_DE_EUCALYPTUS_GLOBULUS_EN_EL_PRINCIPADO_DE_ASTURIAS_Y_LA_MARINA_LUCENSE_2004. DOI: 10.13140/RG.2.2.27052.67205