

# Fundamentos económicos del turno forestal óptimo al incorporar diversos bienes y servicios

LUIS DÍAZ BALTEIRO (\*)

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día parece que ya está unánimemente admitido que los bosques son sistemas que proporcionan múltiples funciones, y esa característica de multifuncionalidad debe ser introducida en las decisiones que afecten a la gestión de las masas. Desafortunadamente, la ordenación o manejo de montes tradicionalmente se ha asimilado como una disciplina enfocada hacia aspectos selvícolas, en perjuicio de una vertiente común y fundamental a todos los problemas de gestión o asignación de recursos como es la económica. Como bien afirma Gong (1994), los forestales han estado siempre más pendientes de la cantidad y calidad de la madera producida, que de la eficiencia en esa producción.

La relación entre ambas disciplinas, la económica y la forestal, arranca de las teorías de un forestal alemán (Faustmann), quien fue el primero en dar un sentido económico al problema de calcular el turno óptimo de corta de las masas forestales. Hasta entonces, la mayor preocupación de los forestales era la de conseguir una producción de madera sostenida a lo largo del turno de transformación. A partir de entonces, la estimación de esa edad óptima de corta se ha revelado como un tema muy atractivo (1), originando una fuente de con-

---

(\*) Área de Economía Agraria y Forestal. ETS Ingenierías Agrarias.

(1) Incluso recientemente han aparecido, entre revistas del máximo impacto, trabajos profundizando en la solución de Faustmann (Chang, 1998; Gong, 1998; Platanga, 1998; Yoshimoto y Shoji, 1998; Yin y Newman, 1997).

flicto entre economistas y forestales (2). En efecto, numerosos economistas del máximo prestigio (Ohlin, Hotelling, Fisher, Boulding, Samuelson, etc.) han estudiado el tema, con desigual fortuna, ya que algunos de ellos han formulado soluciones incorrectas al problema. Ha sido precisamente Samuelson (1976), en un artículo seminal el que ha reforzado la solución de Faustmann al llegar al mismo resultado introduciendo el concepto de renta de la tierra en vez de considerar infinitos ciclos de corta. Esta decisión de cuándo proceder a la corta de las masas forestales, como es lógico pensar, se convierte en el aspecto clave que va a condicionar todas las actuaciones que se van a desarrollar a lo largo de un plazo temporal muy dilatado.

Retomando la definición de los bosques como entes productores de múltiples bienes y servicios, rápidamente se puede pensar en introducir esta característica en la decisión de cuándo proceder a cortar la masa. El estudiar cómo se puede modificar la solución de Faustmann (también conocida como solución FPO) bajo esta nueva situación, a través de una revisión de la literatura relevante al respecto, es el objetivo principal de este trabajo.

A lo largo del mismo se comprobará cómo la inclusión de otras producciones en el concepto del turno óptimo actualiza y vigoriza el problema económico subyacente a la elección óptima del turno forestal. Es como si se pasara de un caso de una sola producción y un solo mercado a una situación donde existen varias producciones (algunas de ellas difíciles de determinar), que interaccionan entre sí de formas muy diversas. Incluso se podría decir que la solución dada por el paradigma FPO representa un caso muy particular de la realidad. No obstante, ello no debilita ni la metodología empleada, ni los resultados obtenidos ya que, como se verá en los próximos apartados, los resultados obtenidos al relajar las hipótesis contempladas por Faustmann son en muchos casos bastante similares a los obtenidos a través de la solución FPO.

A continuación, se van a introducir los aspectos teóricos que subyacen a este planteamiento, comenzando por la teoría de Faustmann, para después incluir en el análisis las ideas de Hartman, que extienden la solución de Faustmann cuando se contemplan otras producciones. Después de mostrar de un modo crítico tanto éstas como otras aproximaciones conceptuales al problema, en la segunda parte de este trabajo se revisan diversos estudios en los que se muestra la

---

(2) En Reed (1994) y Romero (1997) se presenta una acertada revisión de la polémica entre forestales y economistas.

influencia que presenta en el turno el considerar, además de la producción de madera, otros bienes y servicios, tanto tangibles como intangibles.

## 2. LA TEORÍA TRADICIONAL DEL TURNO ÓPTIMO

Aunque dentro de la literatura forestal se citan diversos turnos óptimos, algunos análogos a los conceptos de máximo técnico u óptimo técnico de la teoría de la producción (ver Newman, 1988; Romero, 1997), está unánimemente aceptado que los orígenes de la economía forestal se remontan a un trabajo del forestal alemán Faustmann (1849), en donde se sientan las bases de lo que actualmente se conoce como turno forestal económicamente óptimo. Faustmann definió el turno económicamente óptimo como aquel que maximiza el valor actual neto (VAN) de la inversión subyacente, considerando una cadena infinita de ciclos de corta. Esta fórmula de Faustmann ha sido desarrollada y contrastada por otros autores (e.g. Samuelson, 1976), y así hoy en día se conoce como teorema de Faustmann-Pressler-Ohlin, o paradigma FPO.

Si definimos  $P$  como el precio de la madera,  $f(t)$  la función de producción o curva de crecimiento correspondiente a una determinada masa forestal,  $i$  la tasa de descuento adoptada, y  $K$  los gastos de forestación, el turno óptimo se conceptualiza como aquel que maximiza la siguiente expresión, que corresponde al VAN subyacente a una cadena de infinitos ciclos de plantación:

$$\text{MaxVAN} = \frac{P f(t) e^{-it} - K}{1 - e^{-it}} \quad [1]$$

Como ya se ha apuntado, este modelo simple y determinístico constituye el punto de apoyo básico de toda la economía forestal, y a partir de él ha ido surgiendo una ingente literatura que desarrolla y amplía esta teoría. Debido a su sencillez, la fórmula FPO hacía suposiciones que permitían una fácil comprensión del problema. Además, ciertos aspectos que deben ser considerados en el estudio de las inversiones forestales eran ignorados (3).

Es conveniente comenzar por establecer una analogía entre la producción a este nivel con la teoría microeconómica más elemental, en

(3) En Díaz Balleiro (1997) se recopilan numerosos trabajos que extienden las ideas contenidas en el paradigma FPO.

el sentido que se asume un análisis de equilibrio parcial, suponiéndose un mercado perfectamente competitivo, no se consideran impuestos, la tecnología permanece constante a lo largo del turno de transformación y se tiene en cuenta un entorno perfectamente determinista. Como se puede apreciar, algunas de estas suposiciones se pueden calificar hoy en día como mínimo de audaces. Además, la solución FPO no aborda otra característica esencial de cualquier activo financiero: el riesgo de la inversión.

Estos inconvenientes y otros propios de la producción forestal provocan que la gestión de este tipo de recursos renovables puede variar significativamente en función de la titularidad del mismo. Al realizar la distinción entre diferentes tipos de propiedad habría que preguntarse si las múltiples demandas que la propiedad ejerce sobre el monte pueden quedar resumidas en el único objetivo de maximizar el rendimiento dinerario de la inversión, tal como afirma el paradigma FPO. Durante los últimos años se ha comprobado que esta hipótesis es incorrecta, ya que los propietarios privados no siguen, el dictado de la solución de FPO y maximizan la producción tanto de madera como de bienes y servicios no madereros. Esta circunstancia se puede apreciar en los trabajos de Max y Lehman (1988), Newman y Wear (1993), Curtis (1995), Dole (1997), Pukkala y Miina (1997) o Lönnstedt (1997, 1998).

### 3. EL TURNO FORESTAL ÓPTIMO CON OBJETIVOS MÚLTIPLES

Como ya se ha insistido, uno de los supuestos de partida en el cálculo del turno óptimo era, siguiendo la teoría económica neoclásica, el no considerar las externalidades positivas que un bosque puede producir. Cuando éstas se tienen en cuenta, se entra de lleno en la concepción de las masas forestales como sistemas productores de múltiples usos y/o servicios, que además pueden entrar en competencia. La forma más sencilla de adaptar los planteamientos analíticos tradicionales a una situación de uso múltiple del bosque ha sido sugerida por Hartman (1976), en respuesta al artículo de Samuelson que acababa de validar la solución FPO. La idea básica de este autor consiste en introducir una función  $g(t)$  que recoja los beneficios no maderables (fundamentalmente de tipo ambiental y recreativo) que genera un bosque a lo largo del tiempo. La inclusión de esta función de Hartman en el planteamiento tradicional FPO conduce al siguiente problema de optimización:

$$\text{MaxVAN} = P f(t) e^{-it} + \int_0^t g(t) e^{-it} dt - R \int_0^t e^{-it} dt - K \quad [2]$$

En esta función se aprecia que el valor actual neto de la inversión subyacente viene determinado, además de los términos ya conocidos ( $R$  sería la renta de la tierra o coste de oportunidad de tener el suelo ocupado con la masa forestal) por esa función  $g(t)$  que intenta abarcar el valor de los servicios recreativos y ambientales proporcionados por el monte.

De la ecuación [2] se deduce que si la función  $g(t)$  es estrictamente creciente, lo cual no se puede adelantar a priori debido a la mezcla de los distintos outputs no madereros (4) (Bowes y Krutilla, 1989, cap. 4), los turnos de Hartman serán más largos que los turnos tradicionales, pudiéndose llegar a casos donde nunca interesará cortar la masa forestal (5).

La idea de Hartman de introducir los rendimientos no madereros del bosque en el cálculo del turno óptimo es, indudablemente, valiosa. No obstante, su aplicación práctica no está exenta de dificultades. Así, la determinación de la función  $g(t)$  resulta, en general, bastante problemática, ya que pretende asignar valores monetarios a servicios ambientales y recreativos para los que no existe un mercado bien definido.

Del enfoque de Hartman se ha deducido que si la función  $g(t)$  es estrictamente creciente durante el turno, éstos se alargan. Cabe preguntarse si ese efecto de alargamiento es fuerte o débil. Obviamente, no existe una respuesta concluyente, aunque los escasos estudios empíricos disponibles parecen apuntar a un alargamiento escaso de los turnos (Calish *et al.*, 1978; Casini y Romano, 1989). Concretamente, Casini y Romano, para el caso de los abetos en la Toscana, encuentran que el turno pasa de 76 a 78 años al considerar en el análisis el flujo de servicios recreativos proporcionado por el bosque.

No obstante, de estos trabajos no se colige necesariamente que la consideración de rendimientos no madereros tenga que influir muy poco en la longitud de los turnos, ya que en muchas ocasiones no se consideran a la vez todos los servicios que se podrían incluir en la función  $g(t)$ . Esto es debido, en general, a que no se conocen todavía todos los aspectos inherentes a la valoración del uso múltiple de los montes. Por ejemplo, en Merlo (1991: pp. 216-218) para la misma especie citada anteriormente se pueden ver turnos que al considerar ciertos umbrales de valoración social pueden rondar los 100 años.

---

(4) En Calish *et al.* (1978) se presentan cuatro ejemplares donde  $g(t)$  descende con la edad: caudal de agua, pérdida de suelo y abundancia de dos especies de caza mayor.

(5) Esta circunstancia ocurrirá más fácilmente si la masa es longeva (Strang, 1983) y en zonas remotas con gran capacidad de ofrecer ciertos bienes y servicios intangibles (Klemperer, 1996: p. 233).

En todo caso, la idea propuesta por Hartman es válida, al menos como una primera aproximación, pues permite introducir en los modelos decisionales el carácter de uso múltiple de los sistemas forestales. Por otra parte, debe apuntarse que este planteamiento es fácilmente generalizable a un contexto en el que se consideren diferentes productos no maderables independientes, derivados de la consideración de usos múltiples.

Esta concepción, según la cual un monte posee un valor no sólo cuando se procede a su corta, sino mientras está creciendo, ha sido casi unánimemente aceptada, y posteriormente ha dado lugar a ciertos trabajos que la han desarrollado y perfeccionado. No obstante, este acierto en la propuesta no debe ocultar algunas debilidades o limitaciones de su planteamiento.

### 3.1. Limitaciones y extensiones del planteamiento de Hartman

A pesar del indudable acierto que encierra la propuesta desarrollada por Hartman, es necesario aclarar algunas debilidades o limitaciones de su planteamiento, así como revisar otros estudios que han profundizado en el mismo.

Hartman había asumido que  $g(t)$  era una función estrictamente convexa, lo que aseguraba la existencia de un óptimo único. Sin embargo, Swallow *et al.* (1990) han demostrado que pueden existir regiones no convexas, dependiendo de una serie de factores, siendo quizá el más relevante la importancia de los beneficios no madereros frente a los madereros, sobre todo a edades tempranas de la masa. Esto implica la existencia de máximos locales, lo que puede conducir a que si se atiende únicamente a las condiciones de primer orden se tome como solución óptima un punto que no reúne estas características (6). La razón que indujo a Hartman a asumir la convexidad de esta función es que había considerado como beneficios no madereros a los derivados de valores recreativos, y éstos son claramente crecientes con la edad. Sin embargo otro tipo de producciones (agua, pastos, abundancia de ciertas especies cinegéticas, etc.) no sigue esta pauta.

Otra debilidad, ya señalada, radica en el hecho de que este desarrollo se haya realizado a nivel masa o rodal, y no a nivel monte. Hay que tener presente que en la producción de ciertos bienes y servicios no

---

(6) En el citado trabajo, Swallow *et al.* exponen un ejemplo de producción de madera y pastos, en donde el óptimo global se alcanza a los 73 años, pero presenta un máximo local a los 26 años con una reducción del VAN únicamente del 3%.

maderables puede influir el manejo que se ha realizado en los rodales contiguos (7). Es por ello que parece necesario el tomar como escala para este análisis al monte en su totalidad. Ahondando en esta idea, Swallow & Wear (1993) extienden el modelo de Hartman para tener en cuenta las interacciones entre masas o rodales contiguos. Para ello, reduce el problema a considerar un monte con dos rodales, y estudian cómo influye en el turno de uno de ellos las decisiones de corta que se tomen sobre el rodal restante. Los turnos que se obtienen son bastante variables, y dependen, entre otras razones, de las diferencias de edad entre las masas consideradas. También Toman & Ashton (1996) critican el planteamiento de Bowes & Krutilla (1989) por no asignar con mayor precisión una dimensión espacial a los servicios recreativos que estudian en su trabajo.

Recientemente, Swallow *et al.* (1997) insisten en esta línea, desarrollando un modelo a nivel monte, por medio de programación dinámica, en el que se consideran las interacciones de dos rodales bajo diferentes escenarios. En todas las simulaciones presentadas, pasado un cierto tiempo, la secuencia de cortas converge a un ciclo que se repite a lo largo del tiempo. En definitiva, estos resultados se encaminan hacia una especialización (más o menos acusada) de los diferentes rodales, tanto en el tiempo como en el espacio. Como se acaba de anticipar, cuando se toma una escala mucho mayor (nivel monte), ya no cabe hablar de un turno único, sino de una secuencia de cortas a lo largo del tiempo y a través de todos los rodales que componen esta unidad, que pueden no converger a una estructura de bosque normal.

Otra forma de darle un carácter más general a la solución de Hartman sería el tomar como variable el nivel de intensidad de manejo. Como acertadamente apuntan Montgomery y Adams (1995), si se procede a un manejo muy intensivo, la duración de los estadios juveniles se reducirá, y eso puede tener consecuencias ambientales. En Binkley (1987: p. 116) se muestra la forma que tendría la solución de Hartman, al incluir la intensidad de manejo como variable. Lógicamente el nivel óptimo de intensidad de manejo será en este caso más alto, que cuando no se consideran los beneficios procedentes de otros bienes y servicios no madereros.

Por otro lado, Bhattacharyya *et al.* (1989) y Snyder y Bhattacharyya (1990) amplían el análisis de Hartman considerando tanto los costes

---

(7) Sarker y McKeeney (1992) afirman que la interacción entre rodales puede afectar al valor de los recursos forestales.

necesarios para mantener indefinidamente la masa forestal, como los derivados de mantener la calidad de los servicios recreativos que esa masa ofrece. También Parks *et al.* (1998) ensanchan la solución de Hartman al incluir en el análisis como alternativas, además de las ya enunciadas, el cambio hacia un cultivo agrícola o el abandono de la tierra.

Es preciso recalcar que el modelo propuesto por Hartman engloba muchos de los supuestos que tradicionalmente se consideran en el turno de Faustmann. Uno de ellos es la ausencia de impuestos, y existen trabajos que estudian los efectos de la fiscalidad en el turno óptimo al considerar las producciones no madereras (Englin y Klan, 1990). Toman y Ashton (1996) señalan como limitación a este modelo la suposición de que los beneficios no madereros pueden regenerarse con el crecimiento de la masa, es decir, que no existan irreversibilidades.

Otra debilidad radica en el hecho de considerar únicamente una óptica determinista. Esta concepción es frecuentemente criticada por su falta de realidad, y ha sido abundantemente soslayada a través de modelos estocásticos, basados en maximizar un valor actual neto esperado o una utilidad esperada. Los resultados de estos modelos cuando se maximiza sólo los ingresos procedentes de la madera proporciona generalmente resultados similares a los ya existentes. Aunque no se han publicado demasiados trabajos que recojan, con esta metodología, otros bienes y servicios producidos en el monte, conviene citar a Pukkala y Miina (1997) que muestran cómo varía moderadamente el turno (incrementos entre un 6-20%) cuando el crecimiento de la masa o los precios se alejan de un ambiente determinista.

Por último, otra suposición recogida en la metodología FPO-Hartman, es la de aceptar una neutralidad del propietario hacia el riesgo. Si el propietario presenta un comportamiento neutral con respecto al riesgo, los criterios para determinar el turno óptimo son, como se ha visto, el maximizar el valor actual neto o el valor actual neto esperado, según se considere un entorno determinista o estocástico. Por el contrario, si el propietario es una persona amante o aversa al riesgo, es preciso acudir a modelos basados en la función de utilidad. Dentro de éstos, se recomienda la utilización de los conocidos como modelos de utilidad no esperada, en los que se pueden separar los efectos de las actitudes hacia el riesgo y de las preferencias hacia el tiempo. Un reciente ejemplo de estos modelos sería el conocido como «Recursive Preferences Approach», que ya ha sido aplicado al ámbito forestal (Peltola y Knapp, 1998).

### 3.2. Otras aproximaciones conceptuales

Aunque la revisión que se ha efectuado en este trabajo es deudora de la más estricta ortodoxia en cuanto a las hipótesis realizadas por Faustmann (e implícitamente asumidas por Hartman), es necesario completar este análisis citando otros enfoques o direcciones que, aunque resultan más atractivos bajo un punto de vista teórico al relajar las férreas hipótesis tradicionalmente asumidas, algunos de ellos todavía no han producido resultados unánimemente aceptados.

Dentro de una óptica determinista, y siguiendo a Max y Lehman (1988), se pueden tomar dos opciones: por un lado, simplemente añadir externalidades a la solución FPO (e.g. Hartman), o, por el contrario, desarrollar una teoría de la producción que incorpore otros objetivos además de la madera. Estos autores han optado la segunda opción, y han desarrollado un modelo de secuencia de cortas con dos productos: madera y aspectos recreativos, y en el cual se maximiza la utilidad conjunta de ambos. Los resultados de dicho modelo dependen sobremanera de la forma y parámetros de la forma que se asigne al output no maderero.

Este enfoque teórico consistente en maximizar la función de utilidad que englobe, en el caso más general, a todas las distintas producciones, usos y servicios que se pueden obtener de un ecosistema forestal ha sido empleado abundantemente en el ámbito forestal, sobre todo en problemas de tipo estocástico (ver Gong, 1994, para una magnífica revisión). Dado que se está considerando un uso múltiple del bosque, dichas preferencias estarán representadas por una función de utilidad multiatributo. Para construir dicha función, es necesario descomponerla en un número de funciones monoatributo, siempre y cuando cumplan una serie de condiciones (independencia de atributos e independencia de utilidades), que muchas veces se dan erróneamente por supuestas (Rehman y Romero, 1993). El poder estimar esta función de utilidad no resulta sencillo, dado que implica el asumir la condición de independencia de preferencias, condición muy fuerte y difícil de comprobar en la realidad (Ballesteros y Romero, 1998).

En esta línea, Dole (1997) introduce en su análisis los valores no financieros asociados a la explotación forestal, asumiendo que estos valores (que se suponen conocidos y que actúan en la misma dirección) provocan una disminución de la utilidad marginal de la corta. Aunque no expone ningún ejemplo, se intuye de su modelo que el turno óptimo se alarga con la inclusión de estos atributos, aunque está sujeto a fuertes restricciones.

Finalmente, y volviendo al tradicional análisis coste-beneficio, algunos autores han propuesto otras herramientas que permitan describir con mayor claridad las interrelaciones a que están sometidas estas distintas producciones. Así, Bowes y Krutilla (1989), consideran que una función de costes representa de una forma más eficiente la tecnología subyacente al problema. Es decir, sin abandonar el tradicional paraguas del análisis coste-beneficio, recurren al axioma básico de minimizar los costes necesarios para producir el conjunto de múltiples outputs reseñado, utilizando diversos conceptos microeconómicos elementales (bienes complementarios, sustitutos, independientes) para discernir entre una producción conjunta, o dominada por un único uso.

#### 4. LA PRODUCCIÓN CONJUNTA EN EL ÁMBITO FORESTAL

Hasta este momento se han hecho una serie de hipótesis más o menos implícitas acerca del carácter de la función de producción empleada. Debido a la naturaleza de los sistemas forestales como productores de diversos bienes y servicios, puede parecer conveniente adentrarse en el análisis de la teoría de la producción en el caso particular que nos ocupa. En efecto, parece sensato averiguar si los diferentes outputs que se producen en los montes pueden ser integrados en funciones de producción conjunta o, por el contrario, es más eficiente separar cada output en funciones de producción individuales.

Se dice que existe producción conjunta cuando al menos uno de los factores de producción es utilizado conjuntamente, o dicho de otra forma, no existe producción conjunta cuando cada unidad de input puede ser asociada únicamente a un output, es decir si la función de costes puede ser expresada como la suma de funciones de costes independiente (Beattie y Taylor, 1985: p. 180). Bajo esta circunstancia, los distintos productos obtenidos son independientes para todos los niveles de los otros outputs. Sin embargo, esto conlleva que las cantidades utilizadas de cada input se puedan asignar unívocamente a los diferentes outputs, circunstancia que en los sistemas forestales puede ser difícil de alcanzar. Los ejemplos de producción conjunta en el ámbito forestal no se circunscriben sólo a casos de uso múltiple, sino que puede darse cuando se produce más de un output maderero (e.g. madera de sierra y madera destinada a desintegración) (8).

---

(8) En Yin (1997) se muestra una modificación de la teoría FPO debido a la alteración de la estructura de costes al producirse varios outputs madereros.

Se admite que cuando las curvas de transformación son convexas hacia el origen, los dos productos deben producirse separadamente, es decir, que no existe producción conjunta. En este caso resulta más conveniente separar las producciones y especializar. Parece que si se consideran las múltiples producciones propias de los bosques, las curvas de transformación suelen ser cóncavas. Aunque, según Tomkins (1990), en el caso de situaciones donde se estudien la producción de madera/aspectos recreativos, la curva de transformación presenta zonas que pueden llegar a ser convexas, pero cuando se calcula la producción óptima (vendría dada por la tangente de la familia de rectas iso-ingresos con la curva de transformación) se aprecia que la solución óptima cae en la zona cóncava de la curva. Bowes y Krutilla (1989: pp. 114-117) también ponen un ejemplo de curva de transformación convexa en un caso de producción de madera y agua. Pese a estos contraejemplos, en general, se formula la hipótesis que los ecosistemas forestales se comportan como sistemas de producción conjunta porque al menos un input (la tierra o las actuaciones que se realizan en un monte a lo largo del período de producción) es utilizado simultáneamente en la producción de más de un output.

En resumen, surgen dos problemas al analizar sistemas de producción conjunta: el problema de asignar costes conjuntos a outputs individuales (9), y el problema de calcular erróneamente los costes totales cuando se analizan inputs individuales en solitario. Por último, es necesario apuntar el hecho de que la función de producción en este contexto no es generalmente observable, (ver Hof, 1993, cap. 6) con lo que se puede acudir a técnicas como la programación lineal para intentar mostrar las relaciones que subyacen en esta función.

La teoría de la producción conjunta nos permite adentrarnos en cómo integrar en la gestión todos los outputs producidos en un ecosistema forestal. Dado que la prioridad en la gestión de estas masas no tiene porque estar únicamente vinculada a la producción maderera, sino que se deben integrar en el manejo otros outputs no madereros, se justifica la visión de los bosques bajo un prisma de uso múltiple. A título de ejemplo, en van Kooten (1993: p. 363) se cita una encuesta del Servicio Forestal Americano, en donde se puede ver

---

(9) Por ejemplo, la construcción de un camino forestal puede mejorar la accesibilidad a diferentes bienes y servicios (madera, caza, aspectos recreativos, etc...). Entonces, ¿cómo se asigna ese coste? Incluso puede ocurrir que ninguno de esos usos individualmente justifique la construcción de dicha obra. Otro ejemplo se puede ver en Binkley (1999): el coste de un inventario forestal no se puede imputar a cada producción (madera, fauna, etc.) por separado.

que en los montes que están bajo su gestión, la madera supone el 82% de los ingresos anuales, por sólo un 3% de los aspectos recreativos, pero si se contabiliza el valor potencial total de estos bosques, el 41% de este valor vendría dado por los aspectos recreativos, frente a un 27% de la madera.

El concepto de uso múltiple (10) ha sido estudiado bajo un punto de vista económico siguiendo la teoría económica más ortodoxa. Si, por ejemplo, tenemos dos outputs distintos, la teoría neoclásica tradicional propone el que se trate como un problema de producción conjunta; es decir, dado un nivel fijo de inputs, calcular la curva de posibilidades de producción, o lugar geométrico que muestra las combinaciones más eficientes de las producciones de ambos outputs, y, por otro lado, calcular las funciones de iso-ingreso (si se trata de un propietario privado) o las curvas de indiferencia de la sociedad para dicha composición de outputs, si es que la titularidad del monte es pública. En el punto en que intersecten ambas curvas nos dará la combinación óptima. Este enfoque ha sido utilizado abundantemente en la literatura forestal desde hace varias décadas. Desde Gregory (1955), en un caso de producción conjunta de madera y pastos, hasta Arthaud y Rose (1996), que muestran una curva de transformación entre producción de madera y el mantenimiento de un hábitat para cierta especie de fauna, diversos autores han empleado esta técnica. Sin embargo, este enfoque presenta una serie de insuficiencias que debilitan su aplicación: es preciso que ambas producciones estén monetizadas, la determinación de las preferencias de la sociedad en su conjunto, connotaciones espaciales, etc. Para tratar este tipo de casos, se suelen emplear ciertos modelos de planificación forestal, a una escala más amplia (nivel monte).

## 5. EL TURNO ÓPTIMO Y LAS OTRAS PRODUCCIONES DEL BOSQUE

Después de ver cómo se ve afectado el turno óptimo al introducir en el análisis diversos bienes y servicios, y cómo se pueden integrar, bajo un punto de vista microeconómico, la producción de los distintos bienes y servicios, se va a profundizar en los efectos que se producen en el turno cuando se introducen en el análisis otras producciones. Estos outputs pueden ser bienes tangibles o intangibles, dependiendo si existe un mercado que los monetiza. Se ha analizado la variación en el turno cuando, partiendo de una situación inicial en la que

---

(10) En Díaz Balteiro y Romero (1995) se pueden ampliar las ideas contenidas en este apartado.

sólo se considera una producción de madera, se añade algún otro output no maderero. Es decir, se va a simplificar la realidad con la hipótesis de que tan sólo se producen dos outputs diferentes en cada caso, y uno siempre es la madera. En el cuadro 1 se resumen los resultados obtenidos al estudiar esta variación, revisando y seleccionando la bibliografía existente al respecto. Como se puede apreciar, todas las referencias incluidas son posteriores a la publicación del artículo de Hartman (1976). En dicho cuadro se han introducido para cada tipo de bien o servicio, la variación experimentada en el turno (positiva, negativa o ambigua), la intensidad de la misma y las fuentes consultadas. Antes de pasar a comentar estos resultados conviene precisar que la intensidad de la variación (o elasticidad del turno con respecto a otros bienes y servicios) sólo tiene validez en zonas próximas al óptimo económico. Además, es preciso tener en cuenta que en esta variación influirán otra serie de variables como puede ser la tasa de descuento empleada, el precio de la madera y de otros outputs, etc.

Como primera aproximación, se observa que si la corriente de outputs no madereros crece con la edad de la masa, el turno óptimo se alarga. Esta circunstancia se aprecia fácilmente en outputs tangibles como la producción de frutos o resinas y de bienes y servicios como la captura de CO<sub>2</sub>, el paisaje o los aspectos recreativos. Por el contrario, cuando las producciones son competitivas el turno se reduce. Así, la producción de pastos desciende una vez que la espesura de la masa se va cerrando, con lo que el rendimiento pascícola máximo se producirá cuando la masa presente una edad muy reducida. Otro ejemplo paradigmático resulta el del agua. Como es sabido, a través de la manipulación de la vegetación (incrementando o reduciendo las cortas de la masa) se puede variar el flujo de agua que recibe una cuenca, al modificarse los parámetros de la evapotranspiración. En pura teoría, y haciendo abstracción de otros problemas, cuanto más joven sea la masa, se producirá una menor evapotranspiración en la misma, y por lo tanto más aporte de agua a la cuenca. El último caso señalado que presenta una relación negativa entre el turno y otra producción está encuadrado con el epígrafe otros productos, que intenta englobar lo que en la literatura anglosajona se conoce como («non-timber forest products»), es decir, otros bienes generados en el monte diferentes a la madera, y que reciben un precio de mercado. Dentro de este grupo se ha analizado la producción de setas, que suele ser máxima a edades medias de la masa, lo que también provoca un descenso en el turno al considerar la producción conjunta.

Cuadro 1

## EFECTOS EN EL TURNO AL INCORPORAR OTROS BIENES Y SERVICIOS

Bienes / Servicio	Efecto turno	Intensidad variación	Fuente
Frutos	+	moderada	elaboración propia a partir de los datos de Castellani, 1991
Pastos	-	ligera	Graham y Betters, 1985; Swallow <i>et al.</i> , 1990; Steinkamp y Betters, 1991
Caza	?		Calish <i>et al.</i> , 1978; Morton <i>et al.</i> , 1995
Agua	-	ligera*	Bowes <i>et al.</i> , 1984; Bowes <i>et al.</i> , 1992; Clarke, 1994; Kennedy y Galapitige, 1996; Rowse y Center, 1998
Resina	+	ligera	Johnson, 1998
Otros productos	-	ligera**	Oria de Rueda, 1991; Love <i>et al.</i> , 1998; Hernández de Rojas y Fernández, 1998
Paisaje	+	moderada/intensa	Hull y Buyhoff, 1986; Gregory, 1987; Pukkala y Miina, 1997; Liu <i>et al.</i> , 1994
Fauna salvaje	?		Calish <i>et al.</i> , 1978; Liu <i>et al.</i> , 1994
Recreo	+	moderada	Englin, 1990
Biodiversidad	?		McKelvey y Lamberson, 1994; Holland <i>et al.</i> , 1994; Curtis y Carey, 1996; Liu y Ashton, 1998
Captura CO <sub>2</sub>	+	moderada/intensa	van Kooten <i>et al.</i> , 1995; Ríos, 1997; Romero <i>et al.</i> , 1998; Ríos <i>et al.</i> , 1998

\* salvo aumento notable del precio del agua.

\*\* siempre que los turnos de partida sean razonablemente elevados

Efecto turno:

+ aumento en el turno

- disminución en el turno

? no se puede predecir el signo

intensa &gt;50%

moderada 20-50%

ligera &lt;20%

Intensidad variación:

Volviendo al cuadro 1, se puede apreciar como existen ciertos outputs cuyo efecto en el turno al considerar una producción conjunta es contradictorio o ambiguo. En general estos outputs se refieren a la mayor o menor abundancia de ciertos seres vivos (caza, fauna salvaje, biodiversidad). Tanto en el caso de la caza (11) como de la fauna salvaje, la gestión forestal puede influir notablemente en sus condiciones de vida. El problema radica en que cada especie presenta sus propias demandas en cuanto a la estructura del bosque para desarrollar sus funciones vitales. Además, su carácter móvil plantea dificultades añadidas al gestor. Por todo ello, no se puede predecir de antemano cómo va a influir sobre la fauna un alargamiento o acortamiento del turno. Dependerá, en gran medida, de la especie en cuestión (12), ya que también presentará ciertos requerimientos espaciales, por lo que se puede afirmar que la producción conjunta de madera y hábitat para la fauna tiene sentido, en mayor medida, a un nivel más agregado (nivel monte). Algunos autores (McKelvey y Lamberson, 1994) afirman que las masas que presentan una edad media, es decir que no son ni muy jóvenes ni excesivamente maduras, son quizá las que presenten índices de abundancia más bajos, sin que esto implique que la composición de especies asociada a cada uno de estos estados sea la misma.

En cuanto a la biodiversidad, está generalmente aceptado que si se utilizan los índices habitualmente empleados para su medición (e.g. índice de Shannon), se deduce que el turno se alarga cuando se quiere obtener la máxima biodiversidad posible. Así, no resulta extraño escuchar voces que reclaman una mayor duración de los turnos o una mayor presencia de masas maduras o extra-maduras con el fin de asegurar la conservación de ciertas especies. Sin embargo, en algunas ocasiones al escrutar la evolución de ciertas especies un ecosistema a lo largo del tiempo puede ocurrir que disminuya su número, lo que implicaría que si se tomara un índice de biodiversidad referido a dichas especies, se concluiría que la biodiversidad desciende con el turno. Por ejemplo, Liu y Ashton (1998) construyen un modelo a partir de datos obtenidos en una selva, en el que se puede apreciar que la riqueza de especies arbóreas aumenta a partir

---

(11) A efectos de una mayor claridad en la exposición se ha considerado conveniente separar ambos bienes, aunque actualmente se considera que los precios de mercado asociados a permisos, trofeos, etc., no reflejan el valor económico global de la caza, lo que implicaría la existencia de un mercado imperfecto (Mallson, 1990 a, b).

(12) En Hagan et al. (1997) se presenta un ejemplo en donde se estudia la abundancia de avifauna en un bosque privado, y se muestran ejemplos dispares de cómo la situación ideal para una especie (e.g. pocos años después de la corta) es totalmente opuesta a la de otras (requieren indispensablemente masas mucho más maduras para vivir).

de los diez años hasta obtener un máximo a los 25, para a continuación empezar a descender. Esta circunstancia justifica la inclusión, dentro del cuadro 1, de un signo de ambigüedad cuando se analiza la producción conjunta de madera y biodiversidad.

Por último, es preciso resaltar el hecho de que en un principio, y a tenor de los resultados reflejados en este apartado, la solución obtenida a través de la metodología FPO cabe considerarla como una buena aproximación inicial en numerosas ocasiones.

## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los apartados anteriores se han revisado diversos trabajos que intentan explicar cuál sería, bajo un punto de vista económico, la estrategia óptima a seguir para conseguir integrar esa multiplicidad de producciones dentro de la gestión forestal. Asumiendo que la elección del turno es quizá la decisión más importante del manejo forestal, se ha analizado, partiendo de la solución normalmente aceptada (FPO), qué alternativas se han propuesto para obtener una edad óptima de corta que englobe otras funciones propias de los montes.

La introducción en el análisis del turno de otras producciones no madereras, viene dada fundamentalmente por el aumento en la demanda que se está produciendo con respecto a estos outputs. Esto redundaría en una mayor presión hacia los gestores, que ahora deben tratar estos bienes y servicios a un nivel similar al de las producciones madereras. En el caso de que la asunción de medidas para contemplar estas producciones conduzca a alargamientos en el turno, se hace necesario contabilizar el valor económico de la dilatación de esa edad de corta. Así, si la masa fuera de titularidad privada, el estado debería conceder subvenciones para compensar este alargamiento en los turnos. Existen trabajos donde se calculan estos costes de extender el turno óptimo monocriterio (Lamas *et al.*, 1996; Lippke, 1996).

De los distintos planteamientos propuestos para integrar dentro del cálculo del turno óptimo el uso múltiple del bosque, la solución más aceptada es la de Hartman, pese a que presenta ciertas limitaciones. La racionalidad económica que subyace a esta solución es similar a la FPO, y se demuestra que siempre que la corriente de outputs no madereros crezca con la edad de la masa, el turno óptimo se alarga. A esta misma conclusión se puede llegar a través de los datos empíricos mostrados en este trabajo, tanto para producciones tangibles como para aquellas que no se pueden monetizar, y cuyo resumen se

puede apreciar en el cuadro 1. Además, se puede afirmar que si se parte de una situación inicial con un suelo desprovisto de vegetación, los efectos que provoca en el turno la consideración de otros bienes y servicios no suelen ser muy acentuados.

La metodología desarrollada para la obtención del turno óptimo constituye el punto de partida para intentar abordar cuestiones más complejas dentro del ámbito de la economía o de la gestión forestal. Así, una aplicación inmediata sería el extender esta formulación a un nivel espacial superior, como puede ser el nivel bosque. Sin embargo, a esta escala ya no podemos plantearnos el emplear la solución FPO rodal a rodal sino que habrá que acudir a técnicas propias de la investigación operativa para resolver estos problemas. Si el problema tiene solución factible, generará la combinación de cortas que produzca el máximo VAN, pero no asegura que todos los rodales, cuarteles, etc. se talen a la edad indicada por el paradigma FPO.

El hecho de tomar únicamente dos tipos de producciones no invalida el análisis efectuado en los apartados anteriores, ya que puede ser de gran utilidad y potencialidad a la hora de predecir los efectos de ciertas decisiones de manejo en los distintos bienes y servicios que existen en el monte. Además, la información disponible puede justificar en algunos casos el poder alargar los turnos, y alejarse así de la solución FPO, que, además de reducir posibilidades futuras de manejo, puede fomentar ciertas actitudes contrarias en una parte de la opinión pública.

Por otro lado, es preciso recordar que existe un conjunto de técnicas que tienen su razón de ser en situaciones donde no se puede maximizar un único objetivo, sino que es necesario manejar varios a la vez. Estas técnicas, conocidas como los métodos de decisión multicriterio, se adaptan perfectamente al uso múltiple del bosque, y de hecho ya empiezan a ser utilizadas frecuentemente en el ámbito forestal. En efecto, las técnicas multicriterio se utilizan tanto a la hora de integrar distintos objetivos (e.g. programación por metas, programación compromiso), como para reflejar las preferencias hacia cada uno de los criterios considerados (e.g. AHP). En Romero (1989), Barba-Romero y Pérez (1994), Tarp y Helles (1995) o Díaz-Balteiro y Romero (1998) se pueden encontrar revisiones bibliográficas sobre aplicaciones de la teoría multicriterio a la gestión forestal. En definitiva, como se ha podido mostrar a lo largo de este análisis, la integración de los distintos outputs dentro de la gestión forestal no es un tema cerrado, ya que está recibiendo permanente atención en múltiples disciplinas. Siguiendo a Toman y Ashton (1996), existe la

necesidad de una mayor integración de ciertos principios económicos y ecológicos dentro de la gestión forestal. Estos principios van desde las metodologías implantadas en la economía ambiental para la evaluación de activos intangibles, hasta la integración de pautas relativas a la ecología, tanto vegetal como animal, en la gestión forestal. Los esfuerzos encaminados en esa dirección podrán conseguir unos patrones para que la ordenación de montes sea más eficiente y más integradora con todos los bienes y servicios que la sociedad demanda hoy en día de los montes.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los profesores D. Carlos Romero y D. Casimiro Herruzo han aportado valiosos comentarios tras leer versiones iniciales de este manuscrito. No obstante, los posibles errores que se encuentren en este trabajo se hallan bajo la única responsabilidad del autor. Este trabajo está financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y por la Consejería de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARTHAUD, G. J. y ROSE, W. (1996): A methodology for estimating production possibility frontiers for wildlife habitat and timber value at landscape level. *Canadian Journal of Forest Research*, 26 (12): pp. 2.191-2.200.
- BALLESTERO, E. y ROMERO, C. (1998): *Multiple Criteria Decision Making and its Applications to Economic Problems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- BARBA-ROMERO, S. y PÉREZ NAVARRO, J. (1994). La decisión multicriterio en el análisis y la gestión de los recursos naturales. En Azqueta, D y Ferreiro, A. (eds.): *Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales*: pp. 137-162. Alianza Editorial, Madrid.
- BEATTIE, B. R. y TAYLOR, C. R. (1985): *The Economics of Production*. John Wiley & Sons, New York.
- BHATTACHARYYA, R. N.; SNYDER, D. L. y BISWAS, B. (1989): The optimal forest rotation: some economic dimensions. *Indian Economic Journal*, 37 (2): pp. 69-82.
- BINKLEY, C. S. (1987). Economic models of timber supply. En Kallio, M.; Dykstra, D.P. y Binkley, C.S. (eds.): *The Global Forest Sector: An Analytical Perspective*: pp. 109-136. Wiley and Sons, New York.
- BINKLEY, C. S. (1999): Forestry in the next millennium: Challenges and opportunities for the USDA Forest Service. *RFF Discussion Paper* 99-15.
- BOWES, M. D. y KRUTILLA, J. V. (1989): *Multiple Use Management: The Economics of Public Forestlands*. John Hopkins University Press, Baltimore.

- BOWES, M. D.; KRUTILLA, J. V. y SHERMAN, P. B. (1984): Forest management for increased timber and water yields. *Water Resources Research*, 20 (6): pp. 655-663.
- BOWES, M. D.; KRUTILLA, J. V. y STOCKTON, T. B. (1992): Multiple-use forestry: Management of a California National Forest watershed for augmented water yields. En Nemetz, P.N. (ed.): *Emerging Issues in Forest Policy*: pp. 370-406. University of British Columbia Press, Vancouver.
- CALISH, S.; FIGHT, R. D. y TEEGUARDEN, D. E. (1978): How do nontimber values affect Douglas-fir rotations?. *Journal of Forestry*, 76 (4): pp. 217-222.
- CASINI, L. y ROMANO, D. (1989): La scelta del turno in economia forestale. *Rivista di Economia Agraria*, 44 (3): pp. 419-458.
- CASTELLANI, C. (1991): La produzione leñosa e del fruto e la durata del turno economico delle pinete coetanee di pino domestico (*Pinus Pinea*) in un complesso assestato a prevalente funzione produtiva in Italia. *Annali Istituto Sperimentale per l'assestamento forestale e per l'apicoltura*, 12: pp. 161-221.
- CHANG, S. J. (1998): A generalized Faustmann model for the determination of optimal harvest age, *Canadian Journal of Forest Research*, 28 (5): pp. 652-659.
- CLARKE, H. R. (1994): Forest rotation and streamflow benefits [Gippsland, Victoria]. *Australian Forestry*, 57 (1): pp. 37-44.
- CURTIS, R. O. (1995): Extended rotations and culmination age of Coast Douglas-fir: Old studies speak to current issues. *Research Paper PNW-RP-485*.
- DÍAZ BALTEIRO, L. (1997): Turno forestal económicamente óptimo: Una revisión. *Revista Española de Economía Agraria*, 180: pp. 181-224.
- DÍAZ BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (1995): El uso múltiple del bosque: Consideraciones económicas y ambientales. En Cadenas, A. (ed.): *Agricultura y Desarrollo Sostenible*, pp. 423-439. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Serie Estudios, nº 97, Madrid.
- DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (1998): Modeling Timber Harvest Sheduling Problems with Multiple Criteria: An Application in Spain. *Forest Science*, 44 (1): pp. 37-46.
- DOLE, D. (1997): The economics of private forest management. Unifying the Faustmann model and NIPF management models. *Working Paper*. University of Western Australia Nedlands.
- ENGLIN, J. E. y KLAN, M. S. (1990): Backcountry hiking and optimal timber rotation. *Journal of Environmental Management*, 31 (2): pp. 97-105.
- FAUSTMANN, M. (1849): Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nich 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. *Journal of Forest Economics*, 1 (1): pp. 7-44.
- GONG, P. (1994): Forest management Decision Analysis, Swedish University of Agricultural Sciences., *Departament of Forest Economics, Report*, 105.

- GONG, P. (1998): Risk preferences and adaptive harvest policies for even-aged stand management. *Forest Science*, 44 (4): pp. 496-506.
- GRAHAM, G. M. y BETTERS, D. R. (1985): A simulation model for economic analysis of timber/forage production alternatives in Rocky Mountain aspen stands. *Forest Ecology and Management*, 10: pp. 313-321.
- GREGORY, G. R. (1955): An economic approach to economic use *Forest Science*, 1 (1): pp. 6-13.
- HAGAN, J. M.; MCKINLEY, P.; MEEHAN, A. L.; GROVE, S. L. (1997): Diversity and abundance of landbirds in a northeastern industrial forest. *Journal of Wildlife Management*, 61 (3): pp. 718-735.
- HARTMAN, R. (1976): The harvesting decision when a standing forest has value, *Economic Inquiry*, 16: pp. 52-58.
- HERNÁNDEZ DE ROJAS, A. y FERNÁNDEZ, M. (1998): Los hongos, un recurso más del bosque. Análisis de los principales hábitats de la provincia de Soria. *Montes*, 52: pp. 99-114.
- HOF, J. (1993). *Coactive Forest Management*. Academic Press, Inc., San Diego.
- HOLLAND, D.; LILIEHOLM, R.; ROBERTS, D. y GILLES, J. K. (1994): Economic trade-offs of managing forests for timber production and vegetative forestry. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: pp. 1.260-1.265.
- HULL, R. B.; BUHYOFF, G. J. y DANIEL, T. C. (1984): Measurement of scenic beauty: The law of comparative judgement and scenic beauty estimation procedures. *Forest Science*, 30: pp. 1.084-1.096.
- HULL, R. B. y BUHYOFF, G. J. (1986): The scenic beauty temporal distribution method: an attempt to make scenic beauty assessments compatible with forest planning efforts. *Forest Science*, 32 (2): pp. 271-286.
- JOHNSON, R. N. (1998): Multiple products, community forestry and contract design: The case of timber harvesting and resin tapping in Honduras. *Journal of Forest Economics*, 4 (2): pp. 127-145.
- KENNEDY, J. O. S. y GALAPITAGE, D. C. (1996): Rules for optimal clearfelling in multiproduct forestry subject to risk. *Paper presented at the 40th Annual Conference of the Australian Agricultural Economics Society*, University of Melbourne.
- KLEMPERER, D. W. (1996): *Forests Resource Economics and Finance*. McGraw-Hill, New York.
- LAMAS, T.; THURESSON, T. y HOLM, S. (1996): A cost function estimating the loss due to extended rotation age. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 11 (2): pp. 193-199.
- LIPPKE, B. (1996). Incentives for managing landscapes to meet non-timber goals: lessons from the Washington landscape management project. En: Adamowicz, W. L.; Boxall, P. C.; Luckert, M. K.; Phillips, W. E. y White, W. A. (eds.): *Forestry, Economics and the Environment*: pp. 244-257. CAB Internacional, Wallingford, U.K.
- LIU, J. y ASHTON, P. S. (1998): FORMOSAIC: an individual-based spatially explicit model for simulating forest dynamics in landscape mosaics. *Ecological Modelling*, 106 (2-3): pp. 177-200.

- LIU, J.; CUBBAGE, F. W. y PULLIAM, H. R. (1994): Ecological and economic effects of forest landscape structure and rotation length: simulation studies with ECOLECON. *Ecological Economics*, 10 (3): pp. 249-263.
- LÖNNSTEDT, L. (1997): Non-industrial private forest owners' decision process: A quality study about goals, time perspective, opportunities and alternatives. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 12 (3): pp. 302-310.
- LÖNNSTEDT, L. (1998): Calculating non-industrial private forest owners' cuttings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13 (2): pp. 215-223.
- LOVE, T.; JONES, E. y LIEGEL, L. (1998): Valuing the temperate rainforest: Wild mushrooming on the Olympic Peninsula Biosphere Reserve. *Ambio* (special report 9): pp. 14-16.
- MATTSON, L. (1990a): Hunting in Sweden: Extent, economic values and structural problems. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5: pp. 563-573.
- MATTSON, L. (1990b): Moose management and the economic value of hunting: towards bioeconomic analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 5: pp. 575-581.
- MAX, W. y LEHMAN, D. E. (1988): A behavioral model of timber supply. *Journal of Environmental Economics and Management*, 15: pp. 71-86.
- McKELVEY, K. y LAMBERSON, R. H. (1994): Random entry forestry: Timber management in a time of species conservation. *Natural Resource Modeling*, 8 (1): pp. 81-93.
- MERLO, M. (1991): *Elementi di economia ed estimo forestale-ambientale*. Ed. Cusi Nuova Vita, Padua.
- MONTGOMERY, C. A. y ADAMS, D. M. (1995): Optimal timber management policies. En Bromley, D. (ed.): *Handbook of environmental economics*: pp. 379-404. Basil Blackwell, Oxford, U.K.
- MORTON, K. M.; ADAMOWICZ, W. L. y BOXALL, P. C. (1995): Economic effects of environmental quality change on recreational hunting in northwestern Saskatchewan: a contingent behavior analysis. *Canadian Journal of Forest Research*, 25 (6): pp. 912-920.
- NEWMAN, D. H. (1988): The Optimal Forest Rotation: A Discussion and Annotated Bibliography. *General Technical Report N1*. Se-48, USDA. Southeastern Forest Experiment Station, Asheville.
- NEWMAN, D. H. y WEAR, D. N. (1993): Production economics of private forestry: a comparison of industrial and nonindustrial forest owners. *American Journal of Agricultural Economics*, 75 (3): pp. 674-684.
- ORIA DE RUEDA, J. A. (1991): Bases para la selvicultura y ordenación de montes productores de hongos micorrizógenos comestibles. *Montes*, 26: pp. 48-55.
- PARKS, P. J.; BARBIER, E. B. y BURGUESS, J. C. (1998): The economics of forest land use in temperate and tropical areas. *Environmental y Resource Economics*, 11 (3-4): pp. 473-487.
- PELTOLA, J. y KNAPP, K. (1998): Recursive preferences in forest management. *Paper presented at: First World Congress of Environmental and Economics*, Venice, Italia, June 25-27.

- PLANTINGA, A. J. (1998): The optimal timber rotation: An option value approach. *Forest Science*, 44 (2): pp. 192-202.
- PUKKALA, T. y Miina, J. (1997): A method for stochastic multiobjective optimization of stand management. *Forest Ecology and Management*, 98: pp. 189-203.
- REED, W. J. (1994): Modelos de Gestión Forestal. En Azqueta, D. y Ferreiro, A. (eds.): *Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales*, pp. 181-192. Alianza Editorial, Madrid.
- RÍOS, V. (1997): *Modelos de Optimización de Recursos Forestales en un Contexto de Uso Múltiple: El Caso del Carbono Capturado*. Tesis Doctoral, ETS Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica Madrid.
- RÍOS, V.; DÍAZ-BALTEIRO, L. y ROMERO, C. (1998): Carbon Sequestration and Timber Production: A Bi-Criteria Optimisation Problem. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 465: pp. 336-344.
- REHMAN, T. y ROMERO, C. (1993): The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural systems: Some basic considerations. *Agricultural Systems*, 41: pp. 239-255.
- ROMERO, C. (1989): Modelos de planificación forestal: Una aproximación desde el análisis multicriterio. *Revista de Estudios Agro-Sociales*, 147: pp. 71-92.
- ROMERO, C. (1997): *Economía de los Recursos Ambientales y Naturales 20 Ed.* Alianza Editorial, Madrid.
- ROMERO, C.; RÍOS, V. y DÍAZ-BALTEIRO, L. (1998): Optimal forest rotation age when carbon captured is considered: Theory and applications. *Journal of the Operational Research Society*, 49 (2): pp. 121-131.
- ROWSE, J. y CENTER, C. J. (1998): Forest harvesting to optimize timber production and water runoff. *Socio-Economic Planning Sciences*, 32 (4): pp. 277-293.
- SAMUELSON, P. (1976): Economics of forestry in a evolving society. *Economic Inquiry*, 14: pp. 466-492.
- SARKER, R. y McKEENEY, D. (1992): Measuring unpriced values: An economic perspective and annotated bibliography for Ontario, *Information Report O-X-422*. Forestry Canada, Ontario Region.
- SNYDER, D. L. y BHATTACHARYYA, R. N. (1990): A more general dynamic economic model of the optimal rotation of multiple use forests. *Journal of Environmental Economics and Management*, 18: pp. 168-175.
- STEINKAMP, E. A. y BETTERS, D. R. (1991): Optimal control theory applied to joint production of timber and forage. *Natural Resource Modeling*, 5 (2): pp. 147-160.
- STRANG, W. J. (1983): On the optimal harvesting decision. *Economic Inquiry*, 21: pp. 576-583.
- SWALLOW, S. K. y WEAR, D. N. (1993): Spatial interactions in multiple-use forestry and substitution and wealth effects for the single stand. *Journal of Environmental Economics and Management*, 25 (2): pp. 103-120.
- SWALLOW, S. K.; PARKS, P. J. y WEAR, D. N. (1990): Policy relevant nonconvexities in the production of multiple forest benefits. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1990: pp. 264-280.

- SWALLOW, S. K.; TALUKDAR, P. y WEAR, D. (1997): Spatial and temporal specialization in forest ecosystem management under sole ownership. *American Journal of Agricultural Economics*, 79 (2): pp. 311-326.
- TARP, P. y HELLES, F. (1995): Multi-Criteria decision making in forest management planning. An overview. *Journal of Forest Economics*, 1 (3): pp. 273-306.
- TOMAN, M. A. y ASHTON, M. S. (1996): Sustainable forest ecosystems and management: A review article. *Forest Science*, 42 (3): pp. 366-377.
- TOMKINS, J. (1990): Recreation and the Forestry Commission: The case for multiple-use resource management within public forestry in the U.K. *Journal of Environmental Management*, 30: pp. 79-88.
- VAN KOOTEN, G.; BINKLEY, C. y DELCOURT, G. (1995): Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics*, 77: pp. 365-374.
- YIN, R. (1997): An alternative approach to forest investment assessment. *Canadian Journal of Forest Research*, 27 (12): pp. 2.072-2.078.
- YIN, R. y NEWMAN, D. H. (1997): When to cut a stand of trees? *Natural Resource Modeling*, 10 (3): pp. 251-261.
- YOSHIMOTO, A. y SHOJI, I. (1998): Searching for an optimal rotation age for forest stand management under stochastic log prices. *European Journal of Operational Research*, 105 (1): pp. 100-112.

## RESUMEN

### Fundamentos económicos del turno forestal óptimo al incorporar diversos bienes y servicios

El estudiar cómo se puede modificar la solución de Fautsmann (también conocida como solución FPO) considerando los bosques como entes productores de múltiples bienes y servicios, es el objetivo principal de este trabajo. Utilizando una revisión de la literatura relevante al respecto, se comprobará cómo la inclusión de otras producciones en el concepto del turno óptimo actualiza y vigoriza el problema económico subyacente a la elección óptima del turno forestal.

De los distintos planteamientos propuestos para integrar dentro del cálculo del turno óptimo el uso múltiple del bosque, la solución más aceptada es la de Hartman (1976), pese a que presenta ciertas limitaciones. La racionalidad económica que subyace a esta solución es similar a la FPO, y se demuestra que siempre que la corriente de outputs no madereros crezca con la edad de la masa, el turno óptimo se alarga. Salvo algunos casos, los resultados obtenidos al relajar las hipótesis contempladas por Fautsmann son, dentro de un orden, bastante similares a los obtenidos a través de la solución FPO.

**PALABRAS CLAVE:** Turno óptimo, economía forestal, gestión forestal.

## SUMMARY

### **Economic foundations of the optimum forestry shift to bring in a range of goods and services**

The main objective of this work is studying how it can modify Faustmann solution (also well known FPO as solution) when the forests are considered like entities producing of multiple goods and services. Using a revision of the literature in this field, it will be proven how the inclusion of other outputs in the concept of the optimal rotation modernises and it invigorates the underlying economic problem to the election of the forest rotation.

Among the different approaches proposed to integrate inside the calculation of the optimal rotation the multiple use of the forest, the more accepted solution was suggested by Hartman (1976). The economic rationality that underlies to this solution is similar to the FPO, and it is demonstrated that whenever the current of non-timber outputs grows with the age of the stand, the optimal rotation lengthens. Except for some cases, the results obtained when relaxing the hypotheses contemplated by Faustmann are quite similar to those obtained through the FPO solution.

**KEYWORDS:** Optimal rotation, forest economics, forest management.