

## **CAPÍTULO 9**

### **BOSQUES: ¿CÓMO SATISFACER MÚLTIPLES DEMANDAS EFICIENTEMENTE?**

---

#### **INTRODUCCIÓN**

Hasta hace un par de décadas, el estudio de la economía forestal se consideraba una extensión simple del análisis de recursos naturales renovables, concentrándose en tópicos tales como la edad de rotación óptima de los bosques, los manejos silviculturales adecuados para la obtención de un determinado portfolio de productos, la optimización de las faenas (cosecha y transporte principalmente), y la planificación agregada de la producción, todos basados exclusivamente en el aprovechamiento maderero del recurso. Sin embargo, en los últimos treinta años, la consideración de que los bosques proporcionan una serie de servicios directos e indirectos distintos a los tradicionales (regulación del clima, protección de biodiversidad, captura de carbono, regulación hidrológica, etc.), y que su disponibilidad puede entrar en conflicto con la correspondiente al uso madera, han abierto un nuevo campo de investigación en esta área, la cual trataremos de ilustrar en este capítulo. Nuestro análisis partirá de la noción básica de manejo de un bosque para la producción óptima de madera en el tiempo, para rematar en forma conceptual y práctica con la incorporación de las demandas por los otros servicios del bosque mencionados anteriormente.

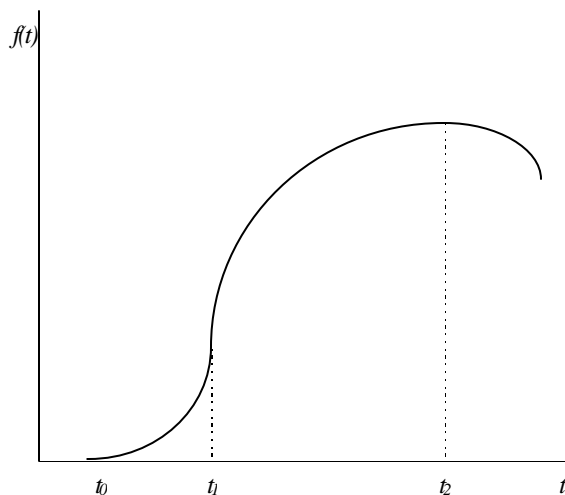
#### **ROTACIÓN ÓPTIMA: LA REGLA DE FISHER**

¿En qué difiere el análisis de los bosques respecto a la pesca, si se trata de dos recursos biológicos renovables? Básicamente, la principal diferencia radica en el perfil etéreo: en el caso de la pesca no consideramos el efecto del tiempo sobre la edad del recurso, mientras que en el caso forestal el tiempo es una variable clave, porque a mayor edad, aumenta la disponibilidad de madera.

En general, para efectos de análisis se identifican dos clases de bosques: los **coetáneos** y los **multietáneos**. Los primeros se caracterizan porque todos los árboles poseen la misma edad en una cierta unidad de superficie (el típico caso de las plantaciones forestales), mientras los segundos muestran una cierta distribución etárea entre ejemplares (la cual es típicamente irregular, por tratarse principalmente de bosques naturales). Para efectos de nuestra presentación nos concentraremos en el análisis de los primeros.

Una segunda observación dice relación con la magnitud de la superficie involucrada. En este caso nos basaremos en un análisis *marginal*, es decir, en la situación que enfrenta el propietario de una hectárea, o una pequeña área plantada. En el mundo real, la problemática de una gran empresa o del Servicio Forestal que administra un gran patrimonio forestal resulta diferente porque ya no resulta válido tomar como referencia la poca incidencia de sus decisiones sobre las asignaciones de mercado (manejar, por ejemplo, cien mil hectáreas de bosques, determina decisiones distintas y más complejas, tales como abastecimiento permanente de centros industriales vinculados a la disponibilidad de madera proveniente del recurso, efectos de la cosecha volumétrica sobre la oferta global de madera, etc.).

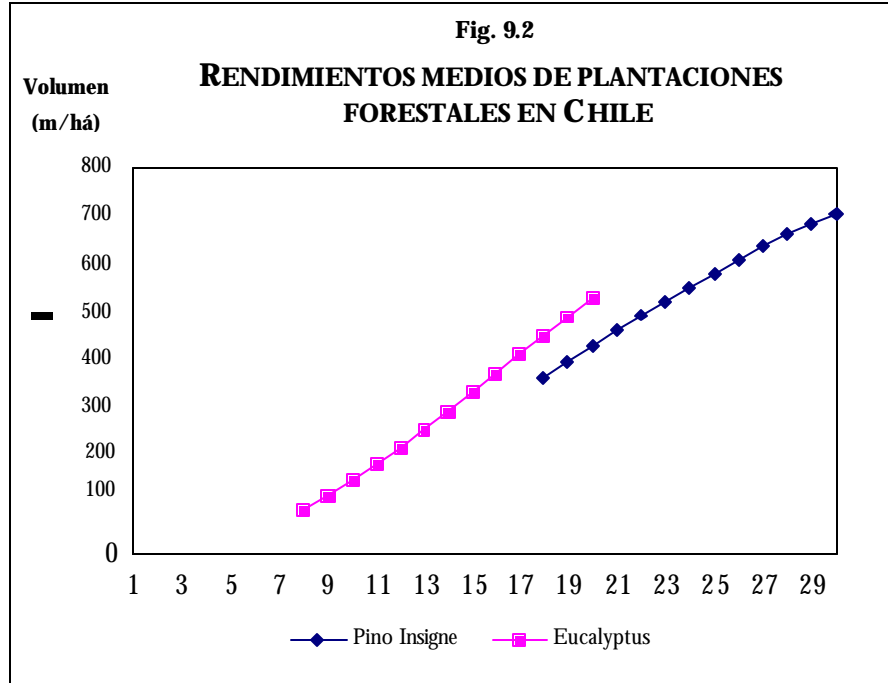
Para una hectárea de bosque, el volumen comercial de madera presenta típicamente una forma de S, tal como se ilustra en la figura 9.1. Aunque en realidad el volumen total es una aproximación “gruesa” al problema real del tomador de decisión (porque mientras el bosque crece, cambia la disponibilidad de los distintos productos madereros, aumentando la proporción de aquellos de mayor diámetro, y por ende de mayor valor, y disminuyendo la correspondiente a rollizos de diámetros menores), para efectos de los objetivos del presente trabajo, tal simplificación se justifica por la claridad ilustrativa del análisis.



**Figura. 9.1**

Volumen maderable de un bosque:  $t$  representa la edad del bosque y  $f(t)$  la función de volumen ( $m^3/ha$ ) en función de la edad del mismo. Por consideraciones de diámetro, sólo a partir de una edad  $t_0$  existe un volumen comercial. Típicamente se produce un período de gran crecimiento hasta alcanzar un máximo ( $t_1$ ), a partir del cual el incremento marginal, aún siendo positivo, decrece. A la edad  $t_2$ , el bosque ya se encuentra “maduro” y a partir de ahí, la muerte de ejemplares determina una disminución gradual de volumen.

En la figura 9.2 se ilustran los crecimientos medios esperados de plantaciones de Pino Insigne y Eucalyptus en la VIII Región de Chile, en el rango de edades comerciales.



La edad de rotación óptima dependerá del objetivo del tomador de decisiones. Una típica regla de decisión que se sigue en bosques públicos es la de maximizar el crecimiento medio de la masa boscosa (el IMA, incremento medio anual). Se define el crecimiento medio anual como:

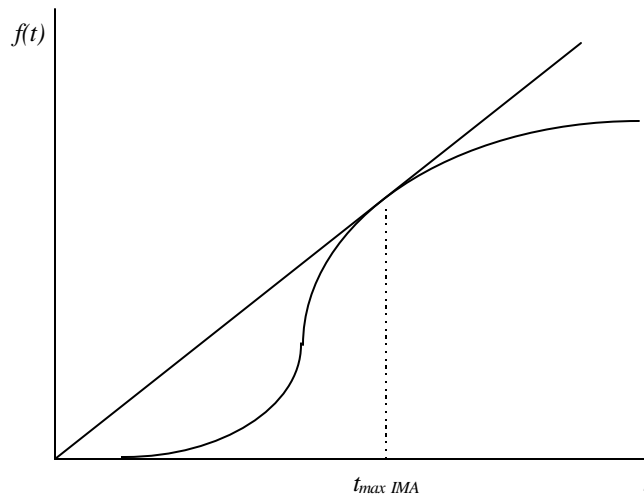
$$IMA = \frac{f(t)}{t} \quad (9.1)$$

luego (9.2):

$$Max\ IMA \Rightarrow \frac{dIMA}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{t \cdot f'(t) - f(t)}{t^2} = 0 \Rightarrow f'(t) = \frac{f(t)}{t}$$

Es decir, el crecimiento medio máximo se produce cuando el incremento volumétrico marginal en un período respecto al anterior iguala al crecimiento medio. En la figura 8.3. se ilustra gráficamente tal situación.

El problema de esta regla de decisión es que ignora absolutamente consideraciones económicas, y por lo tanto sólo por azar se producirá una maximización de los beneficios (privados o sociales) derivados del uso maderero del bosque.



**Fig. 9.3:** Edad a la cual se alcanza el máximo crecimiento medio del bosque

Si introducimos la dimensión económica debemos analizar los beneficios y costos de cosechar hoy versus postergar la rotación un período más. El beneficio de postergar por un período la cosecha está dado por el volumen adicional que el bosque logra crecer en ese periodo de espera y que se comercializara más tarde a un cierto precio, mientras el costo está representado principalmente por dos beneficios que se dejan de recibir:

1. Lo que se deja de ganar por disponer inmediatamente del suelo después de la cosecha, ya que éste podría ser destinado en forma inmediata a un uso alternativo, y
2. Lo que se deja de percibir al no poder invertir el capital proveniente de la cosecha durante un período a una cierta tasa de descuento, i.e:

En un primer momento nos concentraremos en el segundo componente del costo y diremos que la edad de rotación óptima se alcanza cuando el beneficio marginal de esperar iguala al costo marginal de esperar, i.e:

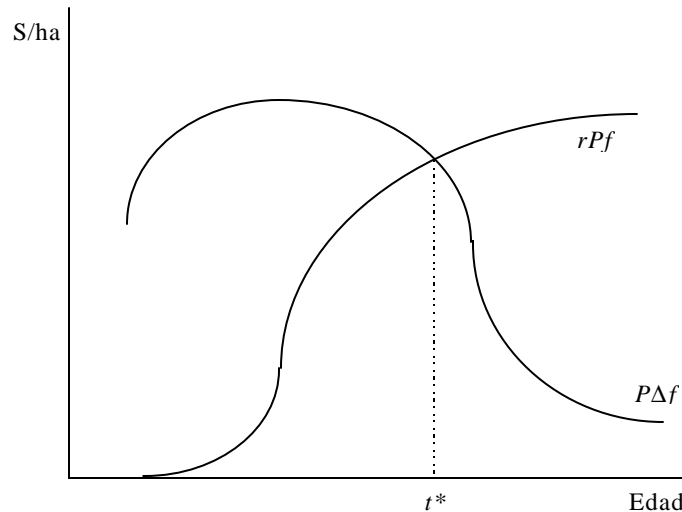
$$BMg(esperar) = P \cdot \Delta f = CMg(esperar) = r \cdot P \cdot f \quad (9.3)$$

donde  $P$  representa el precio en pie real de la madera (es decir, descontados los costos de cosecha, caminos, carguío y transporte a los centros de demanda), el cual estamos asumiendo que se mantiene constante entre periodos.  $\Delta f$  representa la variación de volumen comercial en el período y  $r$  es la tasa de interés. Luego, el óptimo  $t^*$  se alcanza cuando:

$$(9.4) \quad \frac{\Delta f(t^*)}{f(t^*)} = r \quad \text{que se conoce como la Regla de Rotación Óptima de Fisher.}$$

Si el anterior cálculo se realiza para un período corto de tiempo ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), obtenemos la regla de Hotelling:

$$\frac{\dot{f}(t)}{f(t)} = 0 \quad (9.5)$$



**Fig. 9.4:** Determinación de la edad de rotación óptima según la regla de Fisher.

## LA REGLA DE FAUSTMANN<sup>1</sup>

Como vimos, la regla de Fisher obvia el segundo componente del costo de oportunidad de alargar la rotación, el cual corresponde al valor alternativo de la tierra despejada. Sin embargo, en muchas situaciones este componente puede ser significativo, e incluso superior al que se obtiene del uso maderero del bosque<sup>2</sup>. Si lo consideramos explícitamente, la regla de rotación óptima se modifica a:

$$P \cdot \Delta f = r \cdot P \cdot f + R \quad (9.6)$$

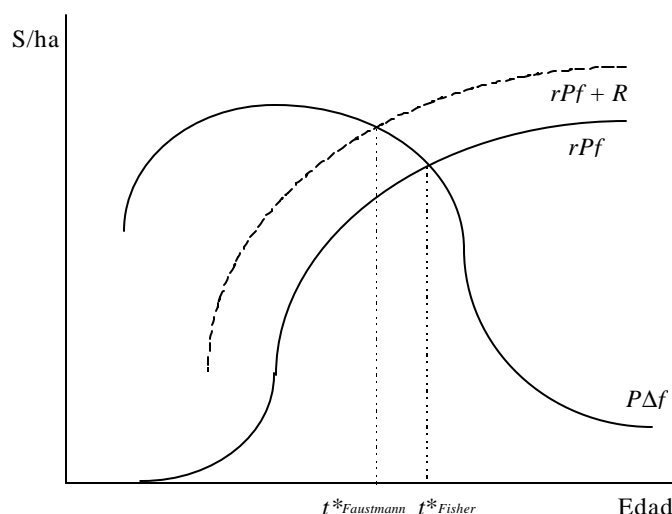
donde  $R$  corresponde a la renta posible de extraer al suelo por período. Así, la regla de Faustmann queda como se indica:

<sup>1</sup> Faustmann M. (1849), "On the Determination of the Value which Forest Land and Immature Stands Pose for Forestry", en Gane M (editor), Martin Faustmann and the Evolution of Discounted Cash Flow, Oxford Institute.

<sup>2</sup> Típico caso de los bosques tropicales que son despejados para habilitar cultivos agrícolas, donde los "habilitadores" prefieren simplificar la tarea mediante la quema de la superficie boscosa para limpiar definitivamente la tierra, evitando el rebrote de la vegetación nativa.

$$\Delta f = r \cdot f + \frac{R}{P} \quad (9.7)$$

Como se aprecia claramente en la figura 8.5, en comparación con la regla de Fisher, ahora se produce un “acortamiento” de la rotación porque resulta más “caro” esperar, recordemos que estamos imponiendo mayores costos.



**Fig. 9.5:** Determinación de la edad de rotación óptima según la regla de Faustmann.

La determinación de  $R$  implica analizar cuáles son los usos alternativos de la tierra. Para efectos ilustrativos supondremos que la mejor opción es seguir destinándola a un uso forestal<sup>3</sup>. En tal caso, tras la cosecha debe incurrirse en un costo  $C$  de reforestación, y la regla de rotación quedaría:

$$\Delta f = r \cdot \left(f - \frac{C}{P}\right) + \frac{R}{P} \quad (9.8)$$

Sea  $V$  el valor presente derivado de las infinitas futuras rotaciones de uso forestal, entonces,  $R = r \cdot V$ , donde  $V$  viene dado por (9.9):

$$V = \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{t^*}} + \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{2t^*}} + \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{3t^*}} + \dots$$

<sup>3</sup> En el caso de las clases de suelo V a VIII en Chile, correspondientes a los suelos de menor productividad (denominados genéricamente “forestales”), si el suelo posee bosques, debe, por ley, mantenerse permanentemente una cubierta forestal sobre el mismo, es decir, si se cosecha el bosque, se debe reforestar en un plazo máximo de tres años.

$$V = \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{t^*}} \left[ 1 + \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{t^*}} + \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{2t^*}} + \dots \right]$$

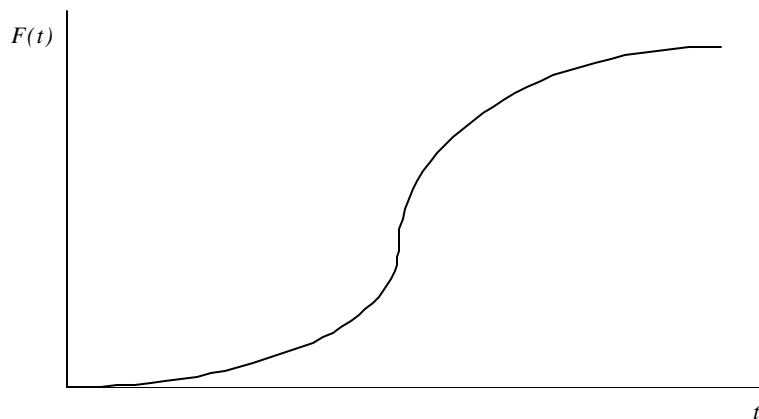
$$V = \frac{P \cdot f(t^*) - C}{(1+r)^{t^*} - 1} \quad (9.10)$$

El análisis de algunas extensiones a este análisis se presentan en el Apéndice N°1. Resulta altamente conveniente que el lector se familiarice en forma práctica con el análisis de estática comparativa referido a la edad de rotación óptima de un bosque comercial ante variaciones en distintos parámetros, esto con el fin de complementar las conclusiones alcanzadas.

### BOSQUES: MUCHO MÁS QUE MADERA

El bosque no sólo posee valor por la madera que contiene, sino además se deben adicionar sus valores *in situ*, cuales son: control de erosión, disponibilidad de productos no maderables (hongos, resinas, aceites), belleza escénica, hábitat de vida silvestre, oferta recreacional, entre otros. En general, se estima que el valor de este flujo de bienes y servicios adicionales es creciente en el tiempo, tal como se ilustra en la figura 9.6.

Luego, para determinar la edad de rotación óptima, resulta necesario considerar explícitamente este flujo de beneficios  $F(t)$  derivado del crecimiento del bosque. Para efectos de simplificar el análisis, en este caso sólo consideraremos la regla de Fisher. La función objetivo sería entonces encontrar a qué edad del bosque se maximizan los beneficios netos que resulta posible extraer de él. Definamos  $G(t)$  como la función del valor madera del bosque en el tiempo (equivalente a  $P \cdot f(t)$ ):



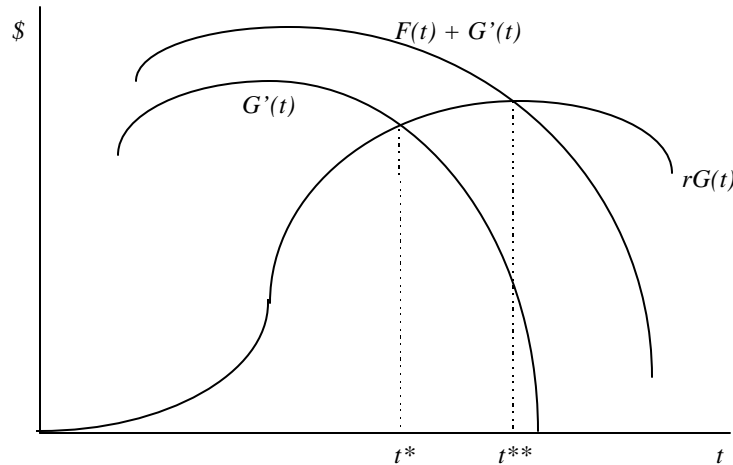
**Fig. 9.6:** Ilustración de  $F(t)$ , el flujo de beneficios no maderables que proporciona un bosque en el tiempo.

$$(9.11) \quad \text{Max } V(t) = \int_0^t e^{-rx} F(x) dx + e^{-rt} G(t)$$

$$(9.12) \quad V'(t) = e^{-rt} F(t) + e^{-rt} G'(t) - re^{-rt} G(t) = 0$$

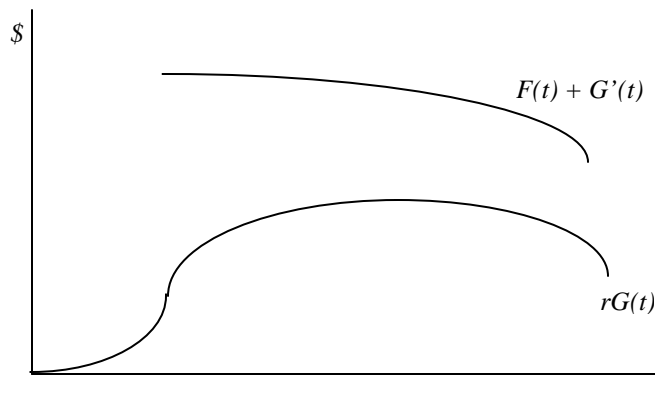
$$(9.13) \quad F(t) + G'(t) = rG(t)$$

Gráficamente:



**Fig. 9.7:** Cambio en la edad de rotación óptima cuando se incorporan valores in situ

La incorporación de valores in situ produce un alargamiento de la rotación respecto del caso en el cual sólo se consideraban los beneficios derivados del valor madera del recurso. En el límite, podemos tener una situación en la cual éste último ítem sea relativamente bajo (especies sin valor comercial, muy heterogéneas o con altos costos de extracción), y donde existan altos beneficios por mantener el bosque intocado, lo cual dé origen a una decisión óptima de no cortar en ningún momento (figura 9.8).



**Fig. 9.7:** Situación en la cual la edad de rotación óptima no se alcanza nunca

**ANÁLISIS DE CASO**  
**MÚLTIPLES DEMANDAS SOBRE EL BOSQUE NATIVO CHILENO**

Uno de los temas ambientales “calientes” del debate ambiental chileno tiene relación con la regulación del bosque nativo. Chile posee una superficie continental de 75 millones de hectáreas (mha), de las cuales 15.6 mha corresponden a bosques, 86% de los cuales son nativos y el resto plantaciones forestales (Pino Insigne y Eucalyptus principalmente).

En la mayor parte de los países desarrollados las múltiples demandas sobre los bosques naturales se resuelven “tácitamente” por el hecho de que éstos son de propiedad pública, y a través de algún proceso pseudo-participativo la sociedad expresa sus preferencias relativas a cómo usar ese recurso (si para fomentar la industria y el empleo forestal, o para fines recreacionales, o para conservación de un patrimonio biológico, etc.). En el caso chileno eso no es posible porque aparte del 29% del bosque que se encuentra en áreas de preservación públicas (SNASPE, Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado), el resto de la superficie corresponde mayoritariamente a bosques de propiedad privada.

Aún cuando un 29% de bosques protegidos es un excelente estándar respecto a otros países “conservacionistas”, existe la “sensación” en la opinión pública de que la superficie remanente es escasa y que se encuentra en grave peligro de desaparición.

Durante ocho años de trámite legislativo las distintas facciones en pugna han expresado cada una su visión de cuáles son las reales causas de degradación del bosque nativo. Así, para las ONGs éstas se encontrarían en la exportación de astillas de madera nativa para exportación y en la sustitución de bosque nativo por plantaciones exóticas de alta productividad, mientras que los empresarios forestales focalizan su atención en la producción de leña que representa dos tercios del consumo total de madera nativa y en otras actividades vinculadas a la pobreza rural que degradan sistemáticamente los ecosistemas (sobrepastoreo, habilitación agrícola, incendios, etc.). La voz de los académicos casi no se ha oído, y el gobierno como un todo no tiene una posición única, aún cuando se percibe cierta cercanía a las posiciones de las ONGs en razón de las prohibiciones y regulaciones propuestas en los distintos borradores de ley.

Ligando los contenidos de este capítulo con los del anterior es posible apreciar inmediatamente que las posiciones enunciadas se concentran casi exclusivamente en causas próximas de degradación en lugar de causas fundamentales. La razón de fondo es la existencia de fallas de mercado que impiden que los propietarios de bosques nativos capturen el valor de los bienes y servicios alternativos (léase preservación de biodiversidad, captura de carbono, producción de agua, entre otros). Dado lo anterior, los esfuerzos de regulación debieran orientarse a alinear objetivos privados y sociales, transparentando los costos y beneficios de las alternativas de conservación y uso del bosque nativo.

## CONCLUSIONES

Hasta la década del 70, el estudio de la economía forestal era una extensión simple del análisis de recursos naturales renovables, concentrándose en tópicos tales como la edad de rotación óptima de los bosques, los manejos silviculturales adecuados para la obtención de un determinado portfolio de productos, la optimización de las faenas y la planificación agregada de la producción, todos basados exclusivamente en el aprovechamiento maderero del recurso. Sin embargo, en los últimos treinta años se ha ampliado la visión de la importancia de los bosques al considerar los servicios adicionales que proveen.

Cuando la extracción de madera comercial es el objeto de atención prioritario, en presencia de un criterio marginalista, existen básicamente dos reglas para determinar la edad de rotación óptima de un bosque: la de Fisher y la de Faustmann. Ambas difieren en el hecho de que la segunda considera el valor residual del suelo una vez producida la cosecha y ello conduce a un acortamiento de la rotación en comparación al criterio de Fisher.

La incorporación del valor in situ del bosque, por otra parte, conduce a un alargamiento de las rotaciones, pues el valor de las funciones asociadas al bosque crece en el tiempo, y puede darse incluso el caso que la solución óptima sea no cortar nunca el bosque. Implementar un sistema de derechos de propiedad sobre esas funciones que permitan capturar esa fuente de valor para sus dueños es un problema que dista de ser trivial, como parece ilustrar el error de diagnóstico de la regulación propuesta en Chile para el uso del bosque nativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cerda A (1997), "*Chile: Defining a Sustainable Path for Native Forests*", Dissertation MSc Environmental and Resource Economics, University College London
2. Deacon R (1985), "*The Simple Analytics of Forest Economics*", en Deacon R y Johnson M (editores), *Forestlands: Public and Private*, Ballinger Publishing Co.
3. Hanley N, Shogren J y White B (1997), "*Environmental Economics: in Theory and Practice*", Macmillan Press Ltd.
4. Hartman R (1976), "*The Harvesting Decision when a Standing Forest has Value*", *Economic Inquiry*, Vol. 14, Págs. 52-68
5. Pearce D y Warford J (1993), "*World Without End: Economics, Environment and Sustainable Development*", World Bank, Oxford University Press
6. Pearce D y Moran D (1994), "*The Economic Value of Biodiversity*", IUCN, Earthscan Publications Ltd.
7. Swanson T (1997), "*Global Action for Biodiversity*", Earthscan Publications Ltd.

## APÉNDICE 1

### CAMBIOS EN LOS PARÁMETROS SOBRE LA ROTACIÓN ÓPTIMA

En este Apéndice se analizarán los efectos que provocan las variaciones de algunos parámetros sobre la edad de rotación. Estos son, por ejemplo, la tasa de descuento, las rentas agrícolas, el precio de la madera, etc. En esta sección, además, nos ocuparemos de estudiar los efectos de la edad de rotación sobre el abastecimiento de madera de corto y largo plazo de una cierta región.

El abastecimiento de largo plazo se define como el rendimiento medio por hectárea multiplicado por la superficie que está destinada al uso forestal. En este caso ilustraremos nuestro análisis por medio de un ejemplo: ¿qué pasa con el abastecimiento de madera si la tasa de descuento aumenta?

Siguiendo la regla de Faustmann, la edad de rotación óptima se da cuando:

$$\Delta f = r \cdot \left(f - \frac{C}{P}\right) + \frac{R}{P}$$

Luego, el aumento de la tasa de descuento produce dos efectos: 1) aumento del primer término del lado derecho, y 2) cambio en  $R$ . El primer efecto tiende a reducir la edad de rotación (¿por qué?), mientras el segundo es incierto y requiere de mayor análisis.  $R$  corresponde al valor anual de la renta máxima de la tierra en su mejor uso alternativo, luego:

$$R = \text{Max} (R_F, R_O)$$

donde  $R_F$  corresponde a la renta derivada del uso forestal del suelo y  $R_O$  al de otras opciones. Intuitivamente si  $r$  aumenta, también lo haría  $R_O$ , pero no sabemos qué dirección de cambio tiene  $R_F$ . Para conocerla, necesitamos evaluar el signo de:

$$\frac{\partial R_F}{\partial r} = \frac{\partial (r \cdot V_F)}{\partial r} = \frac{\partial \left( r \cdot \frac{(P \cdot f - C)}{(1+r)^T - 1} \right)}{\partial r} \quad \text{¿} \leq 0 \text{?}$$

Supondremos que el signo es negativo (da igual si lo suponemos positivo), e intentaremos demostrar la verdad o falsedad de tal hipótesis. Entonces:

$$\frac{\partial R_F}{\partial r} = \frac{(P \cdot f - C)}{(1+r)^T - 1} + \frac{r \cdot (P \cdot f - C)}{\{(1+r)^T - 1\}^2} \cdot (-T \cdot (1+r)^{T-1}) < 0$$

Multiplicando por  $\{(1+r)^T - 1\}^2$  y dividiendo por  $(P \cdot f - C)$ :

$$\{(1+r)^T - 1\} - r \cdot T \cdot (1+r)^{T-1} < 0$$

$$\frac{(1+r)^T - 1}{r} < T \cdot (1+r)^{T-1}$$

pero,

$$\sum_{i=0}^{T-1} (1+r)^i = \frac{(1+r)^T - 1}{r}$$

por lo que el término de la izquierda está compuesto por  $T$  términos, todos ellos menores que  $(1+r)^{T-1}$  (excepto el último, que es igual). Así, se comprueba que el término de la izquierda es menor que el de la derecha, y por tanto, que ante un aumento de la tasa de descuento,  $R_F$  disminuye.

Si asumimos que originalmente  $R = R_F$ , entonces no sabemos a priori qué efecto ( $\uparrow r \cdot P \cdot f$  ó  $\downarrow R_F$ ) resulta dominante, si el aumento en el costo de espera o el

Lo único seguro es que, como  $R_F$  disminuye, también lo hace el número de hectáreas destinadas al uso forestal en el largo plazo (resulta menos rentable). Si la disponibilidad de madera aumenta o disminuye dependerá de la nueva edad de rotación. Como generalmente la edad de rotación óptima desde el punto de vista privado es menor que la correspondiente al máximo rendimiento volumétrico, tenemos que si la edad de rotación óptima disminuye por efectos del aumento de la tasa de descuento, también lo hará el rendimiento medio, y por ende la disponibilidad de madera en el largo plazo. En el corto plazo en tanto, la disponibilidad de madera aumentará, ya que los propietarios que cambien el uso de la tierra lo harán reemplazando los bosques, y al cosecharlos, aumentan la oferta de corto plazo.