

INCENTIVOS ECONOMICOS PARA UNA EXPLOTACION EFICIENTE DEL BOSQUE*

MARIO E. NIKLITSCHek H.**
EUGENIO S. BOBENRIETH H.***

ABSTRACT

The problem of forest management with noncentralized land property seems of increasing importance, specially for developing countries. There is a need to design mechanisms that allow to obtain both commercial benefits from exploitation and purely social benefits generated by standing forests.

In this paper we present a conceptual framework to analyze the distortions in a competitive market with private land property. We identify distortions in the rotation period, harvesting age of existing forest, allocation of land between forest plantations and agriculture, areas without economic use, and deforestation frontier. The model determines the harvesting age of the existing forest depending on the ultimate usage of the land, and it attains land allocation based on variations in soil quality of the available land.

We show that for a given site, the rotation period and the harvesting age are longer in the social optimum. Besides, the competitive solution results in too much land allocated to agriculture and an excessive deforestation. We conclude that a periodic subsidy depending on forest age and site type corrects all the identified distortions.

1. INTRODUCCIÓN

La literatura en economía forestal enfatiza el manejo de bosques con objetivos múltiples, esto es, el bosque como generador de beneficios comerciales asociados a la

* Los autores agradecen la contribución de Juan R. Bobenrieth H. en el desarrollo del Apéndice A; y los comentarios de un árbitro anónimo.

** Profesor Asistente del Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Concepción. Actualmente en el BID, Washington D.C.

*** Profesor Asistente del Departamento de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Concepción.

madera y de beneficios sociales relacionados al control de la erosión, control de inundaciones, absorción de dióxido de carbono, bienes recreacionales, etc.

Las metodologías comúnmente utilizadas para el análisis del manejo forestal han sido la programación matemática y el análisis de actividades, que permiten evaluar alternativas de manejo en un contexto centralizado, por ejemplo, Paredes y Brodie (1988, 1989), Bare y Field (1987). La motivación de gran parte de esta línea de investigación ha sido la necesidad de manejar las extensas áreas asignadas a bosques nacionales en los Estados Unidos. Esto ha llevado a que no se haya incorporado en el desarrollo analítico el problema de manejo del bosque con propiedad descentralizada de la tierra. Incluso en su influyente artículo sobre economía forestal, Samuelson (1976) no se plantea el problema de regulación descentralizada, sino simplemente justifica la propiedad pública del bosque.

Para el caso de Chile y otros países en desarrollo, resulta especialmente relevante el estudio de incentivos económicos que permitan corregir las distorsiones que se generan en un manejo competitivo del bosque. El sistema prevaleciente que se ha implementado en estos países lo constituyen esquemas de subsidios a los costos de plantación por una sola vez, que amarran el suelo al uso forestal, o bien exenciones tributarias a la actividad forestal¹.

El objetivo de este artículo es desarrollar un marco conceptual que permita comparar distintos esquemas de incentivos, de tal forma de lograr un manejo forestal eficiente desde el punto de vista social. Planteamos un modelo del uso de la tierra en actividades competitivas para suelos de diferente calidad, el cual se utiliza para evaluar una política forestal basada en esquemas de subsidios e impuestos.

Las distorsiones que se generan en la solución competitiva por la presencia de externalidades positivas en el bosque están relacionadas con el período de rotación, el momento de corta de un bosque existente, la distribución de tierras entre las actividades agrícola y forestal, la cantidad de tierra total utilizada con fines económicos y la frontera de deforestación. Mostramos que un subsidio periódico diferenciado de acuerdo a la edad del bosque y a la calidad del suelo corrige todas las distorsiones antes planteadas. Por otra parte, un esquema de impuestos agrava la distorsión en la cantidad de tierra dejada sin uso económico, y puede apresurar el momento de corta de un bosque.

En la primera sección de este artículo se discute la determinación del período de rotación para plantaciones en un sitio determinado y se analizan alternativas de incentivos económicos para obtener el óptimo social. En la segunda sección se introduce el problema de asignación de tierras entre distintos usos económicos. En la tercera sección se considera el caso en que existe un bosque inicial, para el cual se estudia la determinación del momento óptimo de corta y la asignación de tierras, evaluándose esquemas de subsidio e impuesto en este contexto. Finalmente, en la última sección resumimos las conclusiones más importantes y proponemos líneas de investigación futura.

¹ La política forestal chilena en el período 1931-74 se basó en exenciones tributarias. Para plantaciones en terrenos clasificados como forestales se estableció la exención total por el plazo de 30 años desde la plantación, de los impuestos territorial, primera categoría, global complementario, tasa adicional, y aquellos sobre herencias, donaciones, etc. El DL 701 de 1974 introduce una bonificación del 75% a los costos de plantación y de administración por una sola vez al predio calificado como preferentemente forestal. Los dueños bajo este esquema están obligados a replantar las tierras subsidiadas (Wisecarver, 1988).

II. PERÍODO DE ROTACIÓN PRIVADO VERSUS OPTIMO SOCIAL

El problema de la determinación de la rotación óptima ha sido extensamente discutido en la literatura. La forma correcta de analizar este problema fue planteada por Faustmann (1849) y luego corroborada en influyentes trabajos como los de Samuelson (1976) y Mitra y Wan Jr. (1985, 1986). Como es tradicional, en esta sección consideramos una cantidad fija de tierra de igual calidad dedicada a la actividad forestal con bosques homogéneos en cada rotación. Definimos una función $G(T)$ que representa el valor neto de la madera de un bosque en edad T . Se asume que $G(T)$ es creciente y estrictamente cóncava².

El agente privado determina la rotación t , de tal forma que el valor de la tierra sea máximo. Es decir:

$$(1) \quad \text{Max } V(t) = G(t) (e^{-t} + e^{-2rt} + e^{-3rt} \dots) = \frac{G(t)}{e^{rt} - 1}$$

La condición de primer orden correspondiente a este problema es la clásica fórmula de Faustmann,

$$(2) \quad G'(t) = \frac{r G(t)}{1 - e^{-rt}} = r G(t) + \frac{G(t)}{e^{rt} - 1}$$

El lado izquierdo de la ecuación (2) representa el beneficio marginal de esperar en términos de mayor volumen de madera y/o precio, y el lado derecho, el costo de oportunidad por mantener capital inmovilizado en bosques y suelo.

La introducción de beneficios asociados a la existencia del bosque se puede realizar siguiendo a Hartman (1976), Calish *et al.* (1978) y Strang (1983), a través de una función $F(T)$ monótonicamente creciente en T y para la cual, además, suponemos $F(b) = 0$, donde $b > 0$, $T > b$. El problema de maximización social debe considerar estos beneficios que no son internalizados por los agentes privados. Por lo tanto, un planificador central maximiza el valor social de la tierra, que se define por:

$$(3) \quad W(t) = \frac{G(t)}{e^{rt} - 1} + \frac{1}{1 - e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx$$

La condición de primer orden para un óptimo social fue establecida por Hartman (1976) y es:

$$(4) \quad G'(t) + F(t) = \frac{r G(t)}{1 - e^{-rt}} + \frac{r}{1 - e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx$$

² Teniendo en cuenta que se incurre en el costo de plantación al principio del período tenemos que $G(T) = H(T) - Ce^{rT}$, donde $H(T)$ es el valor de la madera en T y C el costo de plantación. Una condición suficiente para que $G(T)$ sea cóncava es que el bosque crezca a tasas decrecientes.

A diferencia del caso privado, el lado izquierdo incluye como beneficio marginal esperar la externalidad positiva por conservar el bosque, y el lado derecho incluye como costo marginal el valor descontado de postergar el beneficio social de externalidades producidas en las rotaciones futuras. Dadas las propiedades de la función $F(T)$, la concavidad de $G(T)$ implica que el período de rotación óptimo social es mayor al privado, como se demuestra en el Apéndice A. Esto se debe a que la maduración del bosque produce beneficios sociales que no se pueden substituir completamente mediante su reemplazo por plantaciones nuevas, implicando que hay beneficios sociales mayores a los privados por mantener el bosque en pie.

En la actividad forestal también existen efectos ambientales negativos que son producidos preferentemente durante las faenas de explotación. Entre los problemas de mayor importancia se menciona la erosión, causada por la construcción de caminos de acceso en áreas de alta pendiente, y la contaminación de aguas que es el resultado de los desechos provenientes de las labores de corta. Esta externalidad negativa es un costo social que debe ser descontado de los ingresos netos privados que se perciben por la explotación maderera. Denotando estos costos sociales mediante una constante $E > 0$, la condición de primer orden que determina el período de rotación óptimo social es

$$(5) \quad G'(t) + F(t) = \frac{1}{1 - e^{-rt}} r \left(G(t) + \int_b^t e^{-rx} F(x) dx - E \right)$$

Al comparar esta ecuación con (4), se obtiene que el período de rotación óptimo social debe ser aún mayor cuando se reconocen externalidades negativas en las operaciones de corta³.

Un sistema de incentivos basado en subsidios debe simular las diferencias en las condiciones de optimalidad si se consideran los beneficios que la sociedad percibe por la existencia del bosque en pie. Esto implica que el valor presente del subsidio debe ser⁴:

$$(6) \quad \gamma = \frac{1}{1 - e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx$$

Si este subsidio se otorga por una sola vez se requiere amarrar a los agentes económicos individuales a un período de corta determinado para todas las rotaciones. Este esquema es óptimo en el caso en que haya certeza con respecto a los valores que asume la función $G(T)$, $F(T)$ y la tasa de descuento r . La existencia de incertidumbre con

³ Por simplicidad suponemos que el costo social que no perciben los privados en las faenas de corta no depende de t . Es más realista suponer que al menos una parte del costo crece con la biomasa y, así, con el período de corta. Nuestros resultados, sin embargo, sólo requieren suponer que la tasa de crecimiento del valor del bosque como madera es mayor a la tasa de crecimiento del costo social, es decir $G'(t)/G(t) > E'(t)/E(t)$. Este es el caso cuando el precio de la madera aumenta con la edad del bosque, o si existen algunos costos externos que no dependen del volumen de madera, como ocurre en la construcción de caminos de acceso.

⁴ Si se incorporan los costos sociales E , el valor presente del subsidio es:

$$\gamma = \frac{1}{1 - e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx - \frac{E}{e^{rt} - 1}$$

respecto al valor de las variables exógenas hace preferible un esquema de pago periódico, que incluya solamente el flujo de los beneficios sociales durante el período.

Cualquiera sea el esquema de pago una pregunta importante es conocer cómo cambia el valor presente del subsidio con el período de rotación. Obtenemos:

$$(7) \quad \gamma(t) = e^{-rt} (1 - e^{-rt})^{-1} (F(t) - r \int_b^t e^{-rx} F(x) dx (1 - e^{-rt})^{-1})$$

donde el primer término es positivo y, como se demuestra en el Apéndice A, el segundo término también lo es. Así el valor presente de los subsidios debe ser creciente en t a partir de b , y cero para $t < b$; o en otras palabras, el pago por una sola vez ha de ser diferenciado de acuerdo al período de rotación.

Es necesario destacar que la solución óptima social no se puede lograr mediante un subsidio a los costos de plantación. En particular, un subsidio que se otorga por una vez a los costos de plantación y que amarra la tierra en forma permanente a la actividad forestal no afecta el período de rotación. Denotando los costos de plantación por C y la parte de los costos que incurren los agentes privados después del subsidio por α , tenemos que el problema privado es:

$$(8) \quad \text{Max } V(t) = (H(t) e^{-rt} - \alpha C) + \frac{(H(t) e^{-rt} - C)}{e^{rt} - 1}$$

Esta ecuación descompone el valor actual de la tierra en los beneficios de la primera rotación más el valor descontado del sitio al final del primer período. Claramente las condiciones de primer orden no dependen de α , implicando que cualquier cambio en los costos de plantación iniciales no afecta el período de rotación. Por otra parte es fácil mostrar que una reducción en todos los costos de plantación disminuye el período de rotación.

El período de rotación óptimo social también puede obtenerse mediante un sistema de impuestos. Este esquema de impuestos debe producir los mismos efectos que el subsidio propuesto anteriormente; es decir, necesitamos que las condiciones de maximización del agente privado con el impuesto coincidan con las sociales. Esto se logra restando una constante $A > 0$ a la fórmula que determina el monto del subsidio en ecuación (6) y que sea lo suficientemente grande para que el esquema sea de impuestos para cualquier período de rotación. Se puede demostrar fácilmente que este esquema es equivalente a imponer un pago periódico igual a $F(T) - rA$, o lo que es igual a un impuesto territorial diferenciado según la edad del bosque en pie existente.

III. EL PROBLEMA DE ASIGNACIÓN DE TIERRAS

Hasta aquí nos hemos concentrado en analizar sólo las distorsiones que se producen en el período de rotación para un sitio dado. Para la comparación de esquemas de incentivos basados en impuestos o subsidios es necesario, sin embargo, considerar la agregación de tierras de diferente calidad y con posibilidades de usos alternativos. La

existencia de externalidades en la actividad forestal produce distorsiones en la asignación de tierra entre las actividades forestal y agrícola, y en el área total ocupada.

Suponemos que existe una función de distribución de calidades, $h(z)$, definida sobre la cantidad total de tierra disponible. La variable $z \geq 0$ es un índice de calidad que mide la productividad natural del suelo, la pendiente, la distancia a centros de consumo y la accesibilidad.

El problema planteado en la sección anterior se puede repetir para cada calidad de tierra, resultando en un período de rotación que depende del valor que asume la variable z . De esta forma podemos representar los períodos de rotación privados y sociales por medio de las funciones $t(z)$ y $s(z)$, respectivamente.

La solución competitiva se obtiene del siguiente problema:

$$(9) \quad \text{Max } V(z\alpha, z_m) = \int_0^{z\alpha} h(z) R(z) dz + \int_{z\alpha}^{z_m} h(z) \frac{G(t(z), z)}{e^{rt(z)} - 1} dz$$

sujeto a: $z\alpha \geq 0$

Donde $z\alpha$ y z_m corresponden al valor que asume el indicador de calidad en la última unidad de tierra asignada a las actividades agrícola y forestal, respectivamente. $R(\cdot)$ representa el valor presente de los flujos por hectárea en la agricultura, $G(\cdot, \cdot)$ es el valor neto de la madera en una rotación para un sitio de calidad dada. Estas funciones se caracterizan por $Rz < 0$ y $dG/dz < 0$.

Suponemos que la calidad del suelo es un factor más limitante en la producción agrícola que en la producción forestal, lo que significa que la mejor tierra se asigne primero a la agricultura⁵. En nuestra formulación consideramos que las funciones de retorno en las actividades agrícola y forestal son homogéneas de grado uno en h , para cada calidad.

Las condiciones necesarias para la solución de este problema son:

$$(10) \quad \begin{aligned} \text{i) } R(z\alpha) - \frac{G(t(z\alpha), z\alpha)}{e^{rt(z\alpha)} - 1} &= 0 && \text{si } z\alpha > 0 \\ &\leq 0 && \text{si } z\alpha = 0 \\ \text{ii) } \frac{G(t(z_m), z_m)}{e^{rt(z_m)} - 1} &= 0 \end{aligned}$$

La ecuación (10) i) indica que la tierra debe asignarse entre los usos agrícola y forestal, de tal forma que el valor presente de la hectárea marginal sea igual. Un caso particular ocurre cuando toda la tierra es asignada a uso forestal, debido a que su rendimiento es superior para toda la superficie disponible. La ecuación (10) ii) determina

⁵ En forma más precisa, este supuesto implica que $|Rz| > |d(G/(e^{rt(z)} - 1))/dz|$

el margen de utilización económica de la tierra, esto es, cuando el rendimiento de la última hectárea forestal es igual a cero⁶.

La existencia de externalidades en la actividad forestal produce distorsiones en la asignación de la tierra entre las actividades forestal y agrícola, y en el área total forestada. El problema social debe incluir el beneficio asociado a existencia de bosque en pie.

$$(11) \quad \text{Max } W(z\alpha, z_m) = V(z\alpha, z_m) + \int_{z\alpha}^{z_m} \frac{h(z)}{1 - e^{-rs(z)}} \left(\int_b^{s(z)} e^{-rx} F(x,z) dx \right) dz$$

Sujeto a: $z\alpha \geq 0$

Al igual que con las funciones de retorno privado, la función $F(.,.)$ depende de la calidad de la tierra. Suponemos $F_z > 0$ ⁷. La función $s(z)$ entre g ⁷ el período de rotación óptimo social para cada z , de acuerdo a la solución obtenida de la ecuación (4). La función $V(.,.)$ representa los beneficios privados usando los períodos de rotación óptimos sociales.

El uso óptimo de la tierra se determina a partir de las siguientes condiciones:

$$(12) \quad \begin{aligned} \text{i) } V_{z\alpha} - \frac{h(z\alpha)}{1 - e^{-rs(z\alpha)}} \int_b^{s(z\alpha)} e^{-rx} F(x, z\alpha) dx &= 0 && \text{si } z\alpha > 0 \\ &\leq 0 && \text{si } z\alpha = 0 \\ \text{ii) } V_{z_m} + \frac{h(z_m)}{1 - e^{-rs(z_m)}} \int_b^{s(z_m)} e^{-rx} F(x, z_m) dx &= 0 \end{aligned}$$

Observamos que debido a que las funciones de rendimiento agrícola y forestal son decrecientes en z , la función $V(.,.)$ es estrictamente cóncava y, por lo tanto, el óptimo social implica menos tierra dedicada a actividad agrícola y más tierra dedicada a actividad forestal.

Se hace evidente que un subsidio como el definido en la ecuación (6) no sólo corrige la distorsión en el período de rotación sino también las distorsiones en el uso de la tierra. El efecto de un impuesto que se aplica a toda la tierra utilizada económicamente se analiza en el Apéndice B. Este esquema debe ser diferenciado; el sector agrícola paga la tasa máxima y el sector forestal, tasas menores dependiendo de la edad del bosque, como fue discutido anteriormente. Se obtiene que la condición que determina el uso de la tierra agrícola es idéntica a la obtenida en el problema social. Esto implica que el impuesto logra corregir la distorsión en la cantidad de tierra asignada a la agricultura.

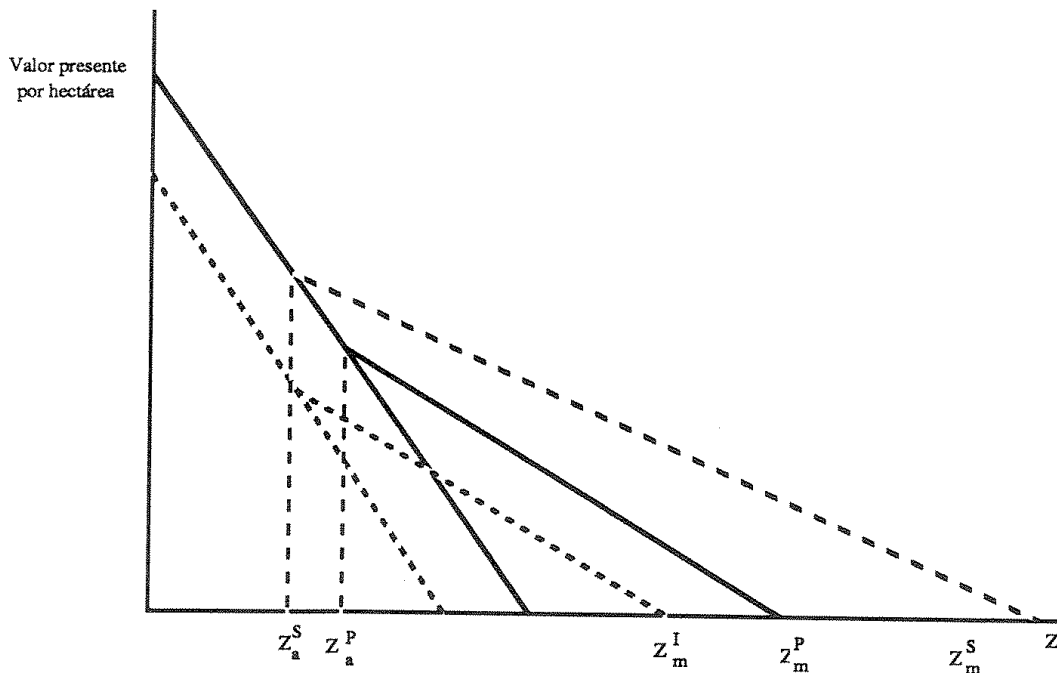
⁶ Se debe hacer notar que cuando $G(.,.)$ es cero, no significa que el t óptimo que se obtiene de la ecuación (2) sea cero. Esto es equivalente a la decisión de cerrar la firma, que no depende de las condiciones de marginalidad, sino que de la condición de que la utilidad variable sea no-negativa.

⁷ Existen dos efectos sobre la función $F(.,.)$ asociados a la calidad de la tierra. Por un lado, los suelos de peor calidad son en general más susceptibles a la erosión, lo cual incrementa el beneficio social del bosque. Por otra parte, el valor de la externalidad disminuye a medida que nos alejamos de áreas más pobladas. Es razonable suponer que el primer efecto domina al segundo.

Sin embargo, un esquema de impuestos resulta en un aumento en la cantidad de tierra dejada sin uso forestal, agravando la distorsión inicial causada por la externalidad positiva asociada al bosque⁸. Es necesario hacer notar que la deficiencia del sistema de impuestos surge por la imposibilidad de gravar toda la tierra disponible, porque los agentes privados tienen la opción de renunciar a la propiedad de la tierra con retornos negativos después de impuestos.

En el Gráfico 1 ilustramos las distorsiones que se producen en el uso de la tierra por causa de las externalidades asociadas al bosque en pie. La curva continua del lado izquierdo representa el valor presente del rendimiento neto agrícola por hectárea, para distintos tipos de suelos; la curva continua de menor pendiente muestra el valor privado de la tierra en uso forestal. Debido a que el valor social de la tierra en uso forestal es mayor al privado, como lo indica la línea entrecortada localizada sobre la línea continua, la solución privada produce un exceso de tierra destinada a la agricultura y demasiada tierra marginal dejada sin uso forestal.

GRAFICO 1



El efecto de un impuesto se muestra mediante el desplazamiento de las curvas de rendimiento agrícola y forestal hacia abajo, siendo mayor el desplazamiento de la curva de rendimiento agrícola debido a los impuestos más altos. Esto resulta en que el $z\alpha$ en el caso privado con impuesto debe coincidir con el $z\alpha$ social, y por otra parte, el z_m con impuesto debe ser menor no sólo al z_m de óptimo social, sino que también a la solución competitiva.

⁸ Este resultado supone que la tierra marginal está y permanece sin una cubierta forestal que permita percibir los beneficios sociales.

IV. EL CASO CUANDO EXISTE BOSQUE EN PIE

Consideramos en esta sección el problema de cuándo cortar un bosque que heredamos de períodos anteriores y también el problema de la determinación de la superficie total deforestada. Un caso particular es cuando el bosque se ha generado en forma natural, sin que se haya incurrido en costos de plantación, como en el caso del bosque nativo⁹. Identificamos los siguientes usos alternativos para la tierra con bosque inicial: plantaciones forestales, agricultura y suelos marginales sin uso económico. Por lo tanto, para un sitio de una calidad específica con un bosque existente homogéneo de edad (a) el problema privado es el siguiente:

$$(13) \quad \text{Max } V(\gamma, t) = \begin{cases} \max V_1(\gamma_1, t) = e^{-r(\gamma_1-a)} \left(G_1(\gamma_1) + \frac{G_2(t)}{e^{rt} - 1} \right) \\ \max V_2(\gamma_2) = e^{-r(\gamma_2-a)} (G_1(\gamma_2) + R) \\ \max V_3(\gamma_3) = e^{-r(\gamma_3-a)} G_1(\gamma_3) \end{cases}$$

sujeto a: $\gamma_i - a \geq 0$ para $i = 1, 2, 3$.

Enfrentando a un sitio específico, el agente determina primero el momento de corta óptimo (γ_i) para cada alternativa y luego elige la opción que le proporcione el máximo valor presente. En el caso en que la tierra siga siendo dedicada a la actividad forestal, se hace necesario diferenciar el valor neto de la madera que se obtiene del bosque existente (G_1) con el valor neto de la madera en las futuras plantaciones (G_2).

Cuando el sitio se destina a plantaciones necesitamos determinar el momento de corta óptimo para el bosque existente y el período de rotación de las plantaciones futuras. Condiciones necesarias para un máximo son:

$$(14) \quad \begin{aligned} \text{i) } G_1'(\gamma_1) - r G_1(\gamma_1) - \frac{r G_2(t)}{e^{rt} - 1} &= 0 && \text{si } \gamma_1 - a > 0 \\ &\leq 0 && \text{si } \gamma_1 - a = 0 \\ \text{ii) } G_2'(t) - \frac{r G_2(t)}{1 - e^{-rt}} &= 0 \end{aligned}$$

La determinación de γ_1 y t se realiza en forma recursiva, determinándose primero el t siguiendo la regla de Faustmann y dado el t óptimo se determina el momento de corta del bosque inicial según las condiciones (14) i). Si el valor del bosque

⁹ La función de beneficios sociales $F(\cdot)$ asociada a bosque nativo, es probablemente mayor que la de plantaciones, reforzando en este caso nuestras conclusiones.

aumenta menos que el costo de oportunidad de esperar, en bosque y suelo, se tala inmediatamente ($\gamma_1 = a$). En caso contrario se posterga el momento de explotación hasta que el beneficio de esperar sea igual a su costo.

Cuando el sitio se destina a la agricultura, la determinación de γ_2 se realiza considerando el costo de oportunidad de la tierra en uso agrícola. La condición necesaria en este caso se obtiene reemplazando en el último término de la condición (14) i) el retorno agrícola anualizado, $r R$. Finalmente, si el sitio se deja sin utilización productiva, el costo de oportunidad del suelo es cero y por lo tanto se corta cuando la tasa de crecimiento es igual a la tasa de interés.

El problema social que incluye las externalidades positivas asociadas a la existencia del bosque es:

$$(15) \text{ Max } W(\gamma, t) = \begin{cases} \max W_1(\gamma_1, t) = V_1(\gamma_1, t) + \int_a^{\gamma_1} e^{-r(x-a)} F(x) dx \\ \quad + \frac{e^{-r(\gamma_1-a)}}{1-e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx \\ \max W_2(\gamma_2) = V_2(\gamma_2) + \int_a^{\gamma_2} e^{-r(x-a)} F(x) dx \\ \max W_3(\gamma_3) = V_3(\gamma_3) + \int_a^{\gamma_3} e^{-r(x-a)} F(x) dx \end{cases}$$

sujeto a: $\gamma_i - a \geq 0$ para $i = 1, 2, 3$.

Si el sitio se dedica a plantaciones, las condiciones que determinan el momento óptimo de corta y período de rotación son:

$$(16) \quad \begin{aligned} \text{i) } \frac{\partial V_1}{\partial \gamma_1} + F(\gamma_1) - \frac{r}{1-e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx &= 0 && \text{si } \gamma_1 - a > 0 \\ &\leq 0 && \text{si } \gamma_1 - a = 0 \\ \text{ii) } \frac{\partial V_1}{\partial t} + F(t) - \frac{r}{1-e^{-rt}} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx &= 0 \end{aligned}$$

Debido a la recursividad de la solución de t y γ_1 , la regla de determinación del período de rotación óptimo para las plantaciones futuras es idéntica a la obtenida para el caso de la tierra sin bosque inicial y, por lo tanto, éste es mayor al privado. Al comparar las soluciones de las ecuaciones (14) i) y (16) i), se observa que el tiempo de corta del bosque existente no es necesariamente más largo desde un punto de vista social que desde

un punto de vista privado. Esto ocurre cuando la diferencia de los últimos dos términos del lado derecho de la ecuación (16) i) es negativa. Este resultado se debe a que los períodos de rotación privados en las rotaciones futuras pueden ser lo suficientemente más largos que el período de corta inicial, para compensar la pérdida de beneficio social por apurar la tala del bosque existente.

En las otras dos alternativas de uso del suelo las condiciones de óptimo sociales son iguales a las privadas, excepto por el término que incorpora la externalidad del bosque existente $F(\gamma_i)$, $i = 2, 3$. Se hace evidente que en estos dos casos el momento de corta social es, sin ambigüedad, mayor al privado.

Para el caso del bosque existente, también se puede analizar la asignación de tierras entre sus diferentes usos, una vez explotado el bosque inicial. Para ello, consideramos que se dispone de un bosque con calidades de suelo que fluctúan entre z_i y z_f . Los retornos de explotación del bosque inicial se pueden suponer decrecientes a medida que empeora el indicador de calidad z . La cantidad de tierra para cada calidad de suelo la denotamos por la función $g(z)$. Sean z_p y z_α las calidades de las últimas tierras asignadas a los usos forestal y agrícola, respectivamente, y sea z_m la peor calidad de tierra explotada y dejada sin uso económico. Suponemos que debido a restricciones tecnológicas no se da una regeneración natural con valor comercial del bosque existente una vez explotado. Definimos $M_i(z)$, $i = 1, 2, 3$ como las funciones de máximo valor para el problema definido en la ecuación (13)¹⁰. Entonces, el problema de uso de la tierra se puede escribir como sigue:

$$(17) \quad \text{Max} \int_{z_i}^{z_\alpha} g(z) M_2(z) dz + \int_{z_\alpha}^{z_p} g(z) M_1(z) dz + \int_{z_p}^{z_m} g(z) M_3(z) dz$$

sujeto a: $z_i \leq z_\alpha$, $z_i \leq z_p$, $z_\alpha \leq z_m$, $z_p \leq z_m$, $z_m \leq z_f$

Las restricciones reflejan que el bosque inicial debe ser explotado antes de destinar el suelo a algún otro uso económico. Al igual que antes, suponemos que la calidad de suelo es un factor más limitante en la producción agrícola que en la producción forestal.

Las condiciones necesarias para este problema son similares a la ecuación (10), pero incorporan los retornos de corta del bosque existente y las nuevas posibilidades de soluciones de esquina.

La forma que asumen las condiciones de marginalidad depende de si existe suelo limpio disponible para la agricultura y las plantaciones; si los suelos son escasos, la frontera de deforestación se determina cuando la suma de los retornos de explotación del bosque y uso posterior son nulos. Así, el bosque será explotado en áreas con retornos

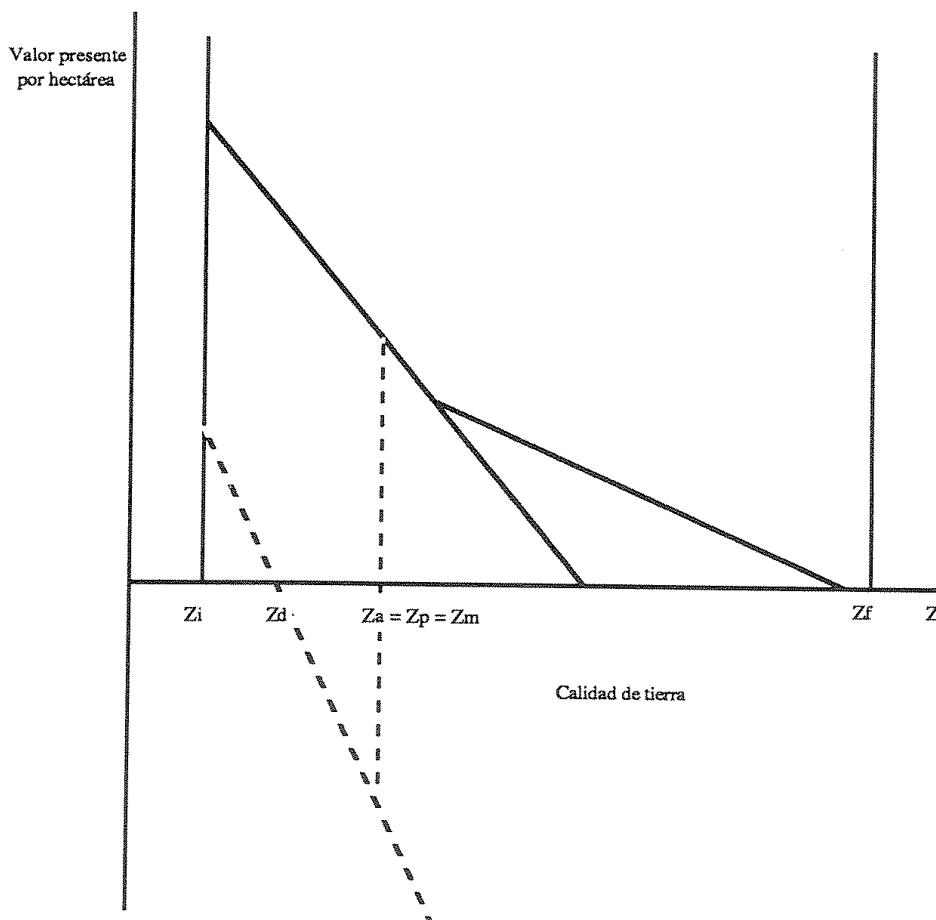
¹⁰ Estas funciones se obtienen sustituyendo las soluciones óptimas para el momento de corta ($\gamma_i(z)$), dependiendo de cuál sea el uso posterior de la tierra. En general los períodos de corta óptimos son mayores para suelos de menor calidad, debido a que el costo de oportunidad de mantener el bosque es menor. Este caso no ocurre cuando la función de retorno es suficientemente cóncava en z , lo que es menos probable cuando existe un gran número de cultivos y especies forestales apropiadas para los distintos suelos. Es interesante hacer notar la analogía de este resultado con el de la teoría económica de los recursos no renovables, en la cual se explota primero el yacimiento de mejor ley (Dasgupta y Heal, 1979).

negativos si el uso posterior de esa tierra permite compensar los costos netos de limpieza.

En el Gráfico 2 se presenta el caso en que el valor comercial para la mayor parte del bosque existente es negativo. El rango de calidad, entre los cuales se encuentra el bosque inicial, se ilustra por medio de las líneas verticales para los valores z_i y z_f . Las líneas continuas de mayor y menor pendiente reflejan los retornos agrícolas y de plantaciones forestales para distintos tipos de suelos, respectivamente; y a línea discontinua muestra el valor neto actualizado que se obtiene por explotar el bosque existente. En este ejemplo, la calidad de la tierra marginal deforestada se determina cuando los retornos negativos por explotación del bosque son iguales a los beneficios positivos de uso agrícola. Una característica de esta solución es que si no existiera demanda por tierra agrícola, la cantidad de tierra deforestada sería sólo z_d , y no la frontera efectiva de deforestación, z_a .

Las distorsiones en el uso de la tierra que se producen por la presencia de externalidades en el bosque se pueden analizar mediante un problema similar al definido en ecuación (17), incorporando los términos que indican los beneficios sociales.

GRAFICO 2



En forma análoga al caso privado, la asignación de tierras se determina una vez conocidos los momentos de corta óptimos¹¹. Los términos de la función por maximizar se obtienen a partir de las funciones de máximo valor de la ecuación (15), agregando el término correspondiente a la externalidad generada por el bosque que permanece en pie.

Un caso interesante de analizar es cuando hay competencia por tierra entre plantaciones y bosque existente. A diferencia del ejemplo discutido anteriormente, en que no había plantaciones forestales, ahora suponemos que la eliminación del bosque inicial es afectada por la demanda por tierra para plantaciones, lo cual se caracteriza por una solución de esquina en la que no existe tierra deforestada y dejada sin uso económico, es decir, $z_p = z_m$. Las condiciones de marginalidad que determinan la cantidad de tierra asignada a la agricultura y la cantidad de tierra deforestada son:

$$(18) \quad \begin{aligned} \text{i)} \quad & J_2(z\alpha) - J_1(z\alpha) + H_2(z\alpha) - H_1(z\alpha) = 0 \\ \text{ii)} \quad & J_1(z_p) + H_1(z_p) - H_3(z_m) = 0 \end{aligned}$$

Donde J_i , $i = 1, 2$ corresponden a las funciones V_i , $i=1, 2$ de la ecuación (13) evaluadas en el momento de corta óptimo social. H_i , $i = 1, 2$ representan los términos correspondientes a los beneficios sociales en la ecuación (15) para los usos de plantaciones y agrícola, respectivamente; también evaluados en el momento de corta óptimo social. La función H_3 refleja el valor presente de las externalidades del bosque inicial que permanece en pie.

La condición (18) i) determina la calidad de la tierra marginal en agricultura, para la cual los retornos privados en la explotación agrícola deben ser mayores a los correspondientes a plantaciones en la magnitud de los beneficios sociales en las rotaciones con bosques artificiales. La condición (18) ii) establece la cantidad de tierra deforestada y destinada a plantaciones, de tal forma que los beneficios privados por deforestar y plantar la última hectárea deben compensar el costo social de cortar el bosque existente.

En el Gráfico 3 se muestran las soluciones privada y social de asignación de tierras cuando existe un bosque inicial. Las líneas continuas corresponden a los beneficios privados, tanto en explotación del bosque existente como en los usos futuros en agricultura y plantaciones. Las líneas entrecortadas indican los beneficios sociales totales (beneficio comercial más externalidades). La línea entrecortada creciente mide los beneficios sociales del bosque cuando se deja indefinidamente en pie.

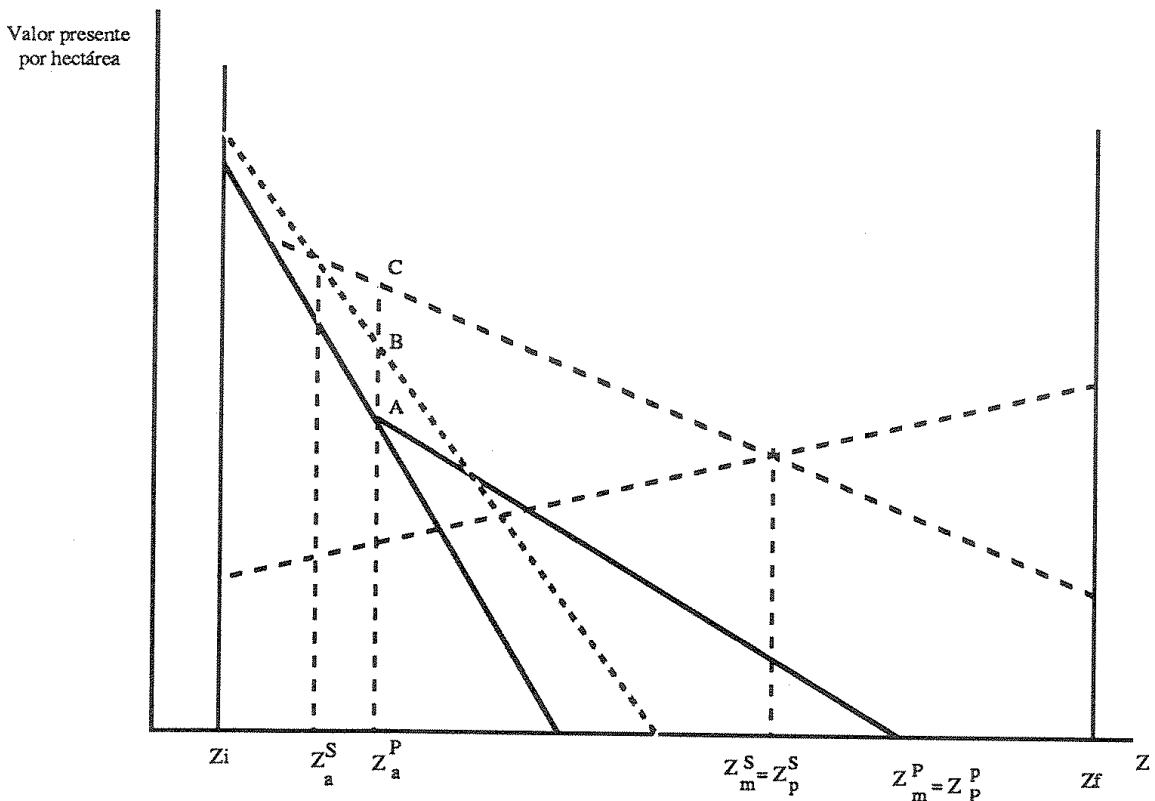
En la solución privada z_a^P , los beneficios sociales durante la permanencia del bosque son iguales entre los usos agrícola y de plantaciones, debido a que el momento de corta es el mismo (punto B en Gráfico 3). Por lo tanto, si para esta calidad de tierra agregamos los beneficios asociados a las plantaciones, la externalidad total debe ser mayor en este uso (punto C), requiriéndose una disminución en la cantidad de tierra destinada a la agricultura. Por otra parte, el gráfico también muestra que la frontera de deforestación se contrae debido a que los beneficios que se dejan de percibir por cortar el bosque son mayores a aquellos correspondientes a rotaciones de bosque artificial.

En forma similar a la sección anterior, el período de rotación, el momento de tala de un bosque existente y la asignación de tierras se pueden lograr con un esquema de subsidios periódicos y diferenciados en el momento de corta del bosque, período de

¹¹ La presencia de la externalidad hace más probable el resultado de que los momentos de corta aumenten cuando disminuye la calidad del suelo. Esto se debe al supuesto de que los beneficios sociales son mayores para terrenos de menor calidad.

rotación de plantaciones y calidad del suelo. Es importante destacar que para lograr el óptimo social se requiere no sólo subsidiar las plantaciones, sino que también al bosque existente. Esto implica que aun en el caso en que el bosque se haya generado en forma natural, es decir, sin incurrir en costos de plantación, es necesario subsidiar su existencia para que el bosque no sea cortado prematuramente y no se dé una excesiva asignación de suelos a las plantaciones y a la agricultura.

GRAFICO 3



En el caso en que existe un bosque inicialmente, las características del esquema de subsidios son muy importantes. Un subsidio a los costos de plantación, por ejemplo, introduce una distorsión que hace que se apresure la corta y puede resultar en demasiada deforestación, debido a que este tipo de subsidio aumenta el costo de oportunidad de mantener la tierra con bosque y de destinarla a otros usos diferentes a plantaciones.

Al igual que en la sección anterior, en general un sistema de impuestos diferenciado de acuerdo a las externalidades sociales en los distintos usos de la tierra, períodos de rotación y calidades de tierras, no garantiza lograr el óptimo social. Específicamente, en el caso en que el bosque se corta para dejar el suelo sin uso económico, un impuesto aumenta la distorsión, reduciendo el momento de corta privado. Esto se debe a que en este caso no se puede aplicar el impuesto una vez que la tierra ha quedado sin cubierta forestal.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un marco conceptual que permite analizar distintos esquemas de incentivos económicos en un contexto de manejo descentralizado del bosque. Se plantea un modelo que se basa en la selección de calidades para determinar el área de tierra asignada a actividades económicas alternativas.

La literatura reconoce la existencia de externalidades positivas asociadas al bosque en pie, que dependen en general de la edad del bosque y del tipo de sitio en que éste se encuentre. La naturaleza pública de estos beneficios significa que la solución competitiva no sea en general óptima. Específicamente, se generan distorsiones en el período de rotación, el momento de corta de un bosque existente, la asignación de tierras entre las actividades forestal y agrícola, la superficie de suelos marginales y la frontera de deforestación. Mostramos que para un sitio dado, el período de rotación de una plantación y el momento de corta de un bosque existente desde un punto de vista social son mayores a los privados. La solución competitiva tiene por resultado demasiada tierra dedicada a la actividad agrícola y un exceso de tierra deforestada. Si no hay competencia por tierras entre plantaciones y bosque inicial, la solución social, además, requiere una mayor superficie de plantaciones en relación al caso privado. Concluimos que un subsidio periódico que se otorgue en base a la edad del bosque y el tipo de sitio logra corregir las distorsiones de la solución competitiva. Este subsidio debe ir aumentando con la edad del bosque y ha de otorgarse tanto a plantaciones como al bosque establecido naturalmente.

Demostramos que un subsidio por una vez a los costos de plantación no corrige las distorsiones en el período de rotación y puede agravar la distorsión en el momento de corta de un bosque inicial. Mediante impuestos se puede lograr corregir la distorsión en el período de rotación para un sitio determinado. Sin embargo, un sistema de impuestos puede anticipar la corta de un bosque existente, y puede aumentar la distorsión en el uso de la tierra, debido a que es imposible gravar suelos sin uso económico.

Cualquier esquema de regulación orientado a lograr un manejo óptimo del bosque, sea tanto de incentivos económicos como de prohibiciones, debe tomar en cuenta que el agente privado tiene la opción a renunciar a la propiedad si sus retornos netos, como consecuencia del sistema de regulación, son negativos. Las prohibiciones e impuestos pueden hacer que un bosque con valor económico privado y social deje de tener valor económico privado, lo que significa que el dueño pierda el incentivo de gastar recursos en mejorar la propiedad, de tal manera que el bosque se puede transformar en un recurso de propiedad común explotado en forma ilegal y sujeto a una degradación continua.

Este trabajo es un primer intento de analizar rigurosamente esquemas descentralizados en el manejo del bosque, y por lo tanto, se puede extender de varias formas. Una extensión que es relativamente fácil de incorporar es permitir la plantación con distintas especies. Intuitivamente, dado que se presentan importantes diferencias para las tasas de crecimiento entre distintas especies, la distorsión en el período de rotación se hace más relevante. La consideración de la intensidad de manejo para un sitio específico es otro elemento que debe ser incorporado en investigaciones futuras en esta área. Por ejemplo, en el caso en que el bosque existente se pueda explotar con métodos de corta selectiva y que permitan la regeneración de un bosque de valor económico, esperaríamos que la distorsión en la asignación de tierras sea menor.

Finalmente, la evaluación de las políticas de inversión pública en infraestructura debe considerar un marco conceptual como el desarrollado e integrarse a la evaluación de esquemas de incentivos económicos directos.

APENDICE A

Proposición:

Sea $F: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}$ una función derivable con derivada continua y positiva en \mathbb{R}^+ y sea $b \in \mathbb{R}^+$ tal que $F(b) = 0$. Entonces, para cada $r > 0$ se cumple que:

$$\frac{r \int_b^t e^{-rx} F(x) dx}{1 - e^{-rt}} - F(t) < 0, \quad \forall t > b$$

Demostración

Sea $r > 0$. Definamos:

$$H(t) = F(t) - \frac{r \int_b^t e^{-rx} F(x) dx}{1 - e^{-rt}} \quad \text{para } t > 0$$

Probaremos que $H(t) > 0, \forall t > b$.

Se tiene que:

$$i) \quad H(b) = F(b) - \frac{r \int_b^b e^{-rx} F(x) dx}{1 - e^{-rb}} = 0$$

ii) Para $t > 0$:

$$H'(t) = F'(t) - re^{-rt} F(t) (1 - e^{-rt})^{-1} + r^2 e^{-rt} (1 - e^{-rt})^{-2} \int_b^t e^{-rx} F(x) dx$$

Entonces, se tiene:

$$H'(t) = F'(t) - re^{-rt} (1 - e^{-rt})^{-1} H(t), \quad \forall t > 0.$$

o lo que es equivalente:

$$H'(t) + re^{-rt} (1 - e^{-rt})^{-1} H(t) = F'(t), \quad \forall t > 0.$$

De esto último, y del hecho que $H(b) = 0$, deducimos que:

$$H(t) = \exp\left(-\int_b^t re^{-rx} (1 - e^{-rx})^{-1} dx\right) \cdot \int_b^t F'(x) \exp\left(\int_b^x re^{-rs} (1 - e^{-rs})^{-1} ds\right) dx \quad \forall t > 0$$

De donde es inmediato que:

$$H(t) > 0, \quad \forall t > b.$$

APENDICE B

El problema privado con un impuesto periódico igual a $rA - F(x, z)$ por hectárea de calidad z , aplicado a toda la tierra con uso económico, es el siguiente:

$$(B.1) \quad \text{Max } V_1(z\alpha, z_m) = V(z\alpha, z_m) - \int_0^{z\alpha} h(z) A dz$$

$$- \int_{z\alpha}^{z_m} \frac{h(z)}{1 - e^{-rs(z)}} \left[\int_b^{s(z)} e^{-rx} (rA - F(x, z)) dx \right] dz$$

Sujeto a: $z\alpha \geq 0$

Es importante destacar que, como se indica en el texto, el período de rotación con impuesto es igual al de óptimo social para un sitio de calidad z .

Condiciones necesarias para la solución de este problema son:

$$(B.2) \quad i) V_{z\alpha} - \frac{h(z\alpha)}{1 - e^{-rs(z\alpha)}} \int_b^{s(z\alpha)} e^{-rx} F(x, z\alpha) dx = 0 \quad \text{si } Z\alpha > 0$$

$$\leq 0 \quad \text{si } Z\alpha = 0$$

$$ii) V_{zm} - h(zm) A + \frac{h(zm)}{1 - e^{-rs(zm)}} \int_b^{s(zm)} e^{-rx} F(x, zm) dx = 0$$

La ecuación (B.2 i) es idéntica a la ecuación (12) i) en el texto, demostrándose que el $Z\alpha$ privado con impuesto es igual al $z\alpha$ de óptimo social. Las ecuaciones (B.2) ii) y (12) ii) difieren sólo en el término $-h(zm)A$ y, por lo tanto, el zm privado con impuesto es menor al zm social. El hecho que $rA - F(x, z)$ sea positivo implica que la suma del segundo y tercer término de la ecuación (B.2) ii) es negativa, demostrándose así que el zm privado con impuesto es menor al zm competitivo.

REFERENCIAS

- Bare, B.B. y R.C. Field (1987), "An evaluation of Forplan from an operations research perspective". P. 133-134 in Symp. Forplan: An evaluation of a forest planning tool. USDA For. Ser. Gen. Tech. Rep. RM-140.
- Dasgupta, P.S. y S.M. Heal (1979), "Economic theory and exhaustible resources". Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Calish, S., R.D. Fight y D.E. Teeguarden (1978), "How do nontimber values affect Douglas-Fir rotations". *Journal of Forestry* 76 (abril): 217-21.
- Faustmann, M. (1849), "On the determination of the value which forest land and immature stands possess for forestry". En Martin Faustmann and the evolution of discounted cash flow, Ed. M. Game. Commonw For. Inst., Oxford Univ. Pap 42. Oxford.
- Hartman, R. (1976), "The harvesting decision when a standing forest has value". *Economic Inquiry* 14 (marzo): 52-58.
- Paredes, G. y J.D. Brodie (1988), "Activity analysis in forest planning". *Forest Science*, Vol. 34, Nº 1, pp. 3-18.
- Mitra, T. y H.Y. Wan Jr. 1985. "Some theoretical results on the economics of forestry". *Review of Economic Studies* 52, pp. 263-282.
- Mitra T. y H.Y. Wan Jr. (1986), "On the Faustmann solution to the forest management problem". *Journal of Economic Theory* 40, pp. 229-249.
- Samuelson, P.A. (1976), "Economics of forestry in an evolving society". *Economic Inquiry* 14 (diciembre): 466-92.
- Strang, W.J. (1983), "On the optimal forest harvest decision". *Economic Inquiry* 21 (octubre): 576-83.
- Wisecarver, D. (1988), "El sector forestal chileno: políticas, desarrollo del recurso y exportaciones". Mimeo Instituto de Economía, Universidad Católica de Chile.