

Evaluación económica de la absorción adicional de dióxido de carbono para nuevos sitios de plantación forestal en Chile

Economic evaluation of the additional carbon dioxide absorption in new forestry plantation sites in Chile

Oscar Vallejos¹, Germán Lobos², César Caroca³ & Cristián Marchant³

RESUMEN: En esta investigación se realizó una evaluación económica de la absorción adicional de dióxido de carbono para nuevos sitios de plantación de *Pinus Radiata* (D. Don) y del híbrido I-488 del género *Populus*, en Chile. En el escenario sin proyecto se asume que las plantaciones forestales no participan en el mercado de los bonos de carbono, y como escenario con proyecto se asume las mismas plantaciones incorporadas al mercado del carbono (con generación de *Temporary Certified Emission Reduction* (tCERs)). Las estimaciones de absorción para pino y álamo fueron realizadas sobre la base de manejos estándar, utilizando los simuladores Radiata Plus y Salica, respectivamente. Para la estimación de los flujos de caja asociados a cada proyecto se construyeron 21.375 posibles combinaciones de valores para las variables decisorias o críticas, utilizando como base estimaciones de los rangos probables que dichas variables tomarían de acuerdo a la literatura. La tasa de costo de capital utilizada en la evaluación económica fue 10,4 y 11,1% para pino y álamo, respectivamente, las cuales fueron estimadas en este trabajo. La principal conclusión sugiere que, para todos los resultados y escenarios posibles, la alternativa que genera mayor valor agregado neto es la absorción de dióxido de carbono a través de la plantación de pino.

Palabras clave: *Pinus Radiata* (D. Don), *Populus* I-488, bonos de carbono, costo del capital y valor agregado neto.

ABSTRACT: In this study, an economic evaluation of the additional absorption of carbon dioxide in new *Pinus Radiata* (D. Don) and *Populus* I-488 hybrid plantation sites in Chile was carried out. In the no-project scenario, it is assumed that the forestry plantations do not participate in the carbon bonds market, and in the with-project scenario, it assumed that the same plantations are incorporated into the carbon bonds market (with generation of tCERS). The absorption estimations for pine and poplar were carried out based on standard handling, using the Radiata Plus and Salica simulators respectively. For the estimation of the cash flow associated with each project, 21,375 possible combinations were created for the values of the decisive and critical variables, using as basis the estimations of the possible ranges that these variables would take according to the literature. The weighted average cost of capital (WACC) used in the economic evaluation was 10.4% and 11.1% for pine and poplar respectively, which were estimated for this study. The principal conclusion suggests that, for all the possible results and scenarios, the option that generates the most NPV is the CO₂ absorption through pine plantations.

Keywords: *Pinus Radiata* (D. Don), *Populus* I-488, carbon bonds, cost of capital and net present value.

(Recibido: 22 de julio 2007. Aceptado: 18 Octubre 2007)

¹ Dr. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales, Casilla 721, Talca. E-mail: ovallejo@utalca.cl.

² Magíster, Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Empresariales, Casilla 721, Talca. E-mail: globos@utalca.cl.

³ Ingeniero Comercial, Universidad de Talca.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) ha generado importantes cambios climáticos, lo cual ha suscitado la atención y preocupación mundial. De acuerdo al Protocolo de Kyoto, las GEI deben limitarse o reducirse son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). Según Villalobos (1999), las proyecciones indican que los costos de las acciones para combatir el cambio climático serían menores que los incurridos si éstas no fuesen realizadas.

El Protocolo de Kyoto de 1997 es un acuerdo mediante el cual 86 naciones industrializadas se comprometieron a reducir en un 5% sus emisiones de CO_2 (y GEI en general) entre los años 2008 y 2012, respecto de los niveles de 1990. El documento establece una serie de medidas de flexibilización de mecanismos, entre los que se cuenta la Implementación Conjunta de Proyectos (ICP), la Transacción de Emisiones entre Países Anexo I (TE) y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

En el marco del MDL los países en desarrollo (PED), y en particular Chile, tienen una atractiva oportunidad de negocio, pues para efectos del cumplimiento de sus obligaciones, los países industrializados que no tienen la posibilidad de implementar en sus territorios estas medidas o que les resulta demasiado costoso, pueden comprar los bonos por reducción de emisiones que se generen en los PED, donde se aplique MDL. Los tipos de proyectos forestales que se consideran para estos efectos son tres: 1) Proyectos de conservación de carbono, 2) Proyectos de captura de carbono (en estricto rigor se refiere a la fijación o absorción de CO_2), y 3) Proyectos de sustitución de carbono (Gayoso y Schlegel, 2001).

En esta investigación se aborda los proyectos del segundo tipo, de absorción de CO_2 , que incorporan el concepto de adicionalidad, al incrementar la superficie cubierta por bosques y la biomasa mediante nuevas plantaciones. Pues considerando las decisiones tomadas y confirmadas en la Conferencia de las Partes Número 9 (COP9) (Milán, diciembre de 2003), sólo las actividades de forestación y reforestación (FR) son consideradas actividades forestales MDL permisibles para el primer periodo de compromiso.

Según Gayoso y Schlegel (2001) se entiende por

adicionalidad o carbono adicional, el carbono capturado por la plantación y susceptible de incorporarse a MDL, específicamente, es el carbono extra calculado en comparación con la línea base (escenario sin plantación), absorción antropógena neta, según COP9. Para el caso de este estudio, que considera sólo nuevas plantaciones, con una absorción nula de la línea base (supuesto), todo el carbono capturado califica como adicional.

Existen diversos estudios de proyectos de captura de carbono, en los cuales se determina su rentabilidad, tales como los trabajos de Haltia y Keipe (1997), Gayoso y Schlegel (2001), Gutiérrez y Lopera (2001), Loza (2001), Loguercio (2002), Chidiak *et al.* (2003), y López y Villena (2003). En la mayoría de estos estudios se concluye que las variables críticas en la rentabilidad del negocio son la tasa de descuento, horizonte de planeación, precios de venta, el momento en que se producen los ingresos y los costos de certificación.

Según Gutiérrez y Lopera (2001), se puede superar el problema de los precios inciertos, considerando los costos de oportunidad de la captura de carbono. Para ello utilizaron el método del valor actual neto (VAN) para determinar la rentabilidad de los proyectos y la tasa de descuento pertinente la consideraron como parámetro decisorio y sensibilizaron el VAN. Loza (2001) realizó el supuesto de que las plantaciones forestales serán aceptadas en el MDL y que los créditos de carbono serán transferidos directamente al productor forestal; el autor concluyó que el valor esperado de la tierra aumenta al incluir los créditos de captura de carbono y que el resultado económico mejora a medida que aumenta el valor de los créditos de carbono y disminuye la tasa de descuento. Loguercio (2002) presentó tres métodos formales por los cuales se puede calcular la captura certificada y concluyó que la conveniencia económica cambia al variar los parámetros decisorios. Por otro lado, Chidiak *et al.* (2003), plantearon que la tasa de descuento es una de las variables con mayor incidencia en la rentabilidad de este tipo de proyectos, sensibilizando sus evaluaciones con tasas entre 8 y 12%, y utilizando precios de 1,3 y 5,0 US \$ t^{-1} de CO_2 .

Por otra parte, López y Villena (2003) incorporaron los efectos secundarios e indirectos y plantearon que las externalidades positivas, en términos ambientales y de salud, justifican la aplicación de subsidios a este tipo de proyectos; con el fin de que los costos privados se igualen a los sociales, más específicamente, para igualar las edades de corta óptimas privadas y

sociales. Similar argumento plantearon Haltia y Keipe (1997), quienes concluyeron que se justifican compensaciones por externalidades positivas. Gayoso y Schlegel (2001), plantean que las externalidades de este tipo de proyectos pueden dividirse en: a) las relacionadas con los GEI: transferencias y fugas y b) las no relacionadas con los GEI: impactos ambientales y de desarrollo, es decir existen tanto externalidades positivas como negativas. López y Villena (2003) sólo hacen referencia a las externalidades positivas, Gayoso y Shlegel (2001) se limitan a describir de qué se tratan las externalidades asociadas a este tipo de proyectos. Con respecto a las externalidades negativas, denominadas fugas, por lo general, se opta por suponer que no existen.

El objetivo general de esta investigación fue realizar una evaluación económica de la absorción adicional de dióxido de carbono para nuevos sitios de plantación de *Pinus Radiata* (D. Don) y del híbrido de *Populus I-488*, en Chile. Se definieron los siguientes objetivos específicos: a) Cuantificar los flujos de costos y beneficios asociados a cada tipo de plantación, b) Estimar la tasa de descuento para la evaluación del proyecto, c) Identificar e incorporar los principales efectos del riesgo sobre la rentabilidad esperada y, d) Identificar los principales efectos secundarios e indirectos del proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Situación con y sin proyecto

El primer paso fue identificar, la situación con proyecto y la situación sin proyecto. Se asumió una línea base de cero absorción, esto no implica necesariamente que la situación sin proyecto sea un escenario en que no existe plantación, sino que, tal como lo sugiere la revisión de la literatura, el proyecto de absorción de CO₂ es un proyecto adicional a la plantación que genera ingresos adicionales a los correspondientes a la venta de madera. Por lo tanto, para efectos de la evaluación económica, en este estudio la situación sin proyecto corresponde a la plantación para fines de producción maderera (pino o álamo), sin la intención de generar y vender certificados de emisiones reducidas forestales (CERs).

La situación con proyecto corresponde a la misma plantación, pero ahora incorporándose al mercado de los bonos de carbono (MBC).

2.2. Estimación de la absorción de CO₂

El peso es usado cada vez con mayor frecuencia para

expresar la cantidad de productos forestales (Parresol y Thomas, 1996). Adicionalmente, la estimación de carbono ha promovido el desarrollo de métodos para estimar el peso de los árboles en pie (Husch, 2001). De acuerdo a este autor, se puede realizar la estimación del peso directamente si existen funciones previamente desarrolladas, de otro modo se puede convertir los volúmenes a peso. Brown *et al.* (1989) fueron los impulsores en la utilización de inventarios forestales tradicionales para la estimación de biomasa, transformando los volúmenes a peso; esto se consigue al multiplicar el volumen de los árboles por la densidad promedio de la especie. El contenido de carbono se obtiene al multiplicar la biomasa por la fracción de carbono presente en ella, cuyo valor fluctúa entre 0,45 y 0,55 (Husch, 2001). Los sitios de mayor calidad y productividad fijan mayor cantidad de carbono, ya que presentan un mayor volumen. Sin embargo, una forestación agrupa sitios de distintas calidades, de modo que la determinación de la fijación de carbono se debe realizar para cada una de estas clases, puesto que los retornos económicos dependen directamente de la productividad del sitio.

Las clases de sitios para *Pinus Radiata* (D. Don.) en la Región del Maule, Chile, se definen de la siguiente manera: clase uno, con un índice de sitio (IS) de 28 m, clase dos, con un IS de 24 m y clase tres con un IS de 20 m (Peters *et al.*, 1985). Por otra parte, las clases de sitios para el híbrido de *Populus I-488* son: clase 1, que presenta un IS de 34 m; clase dos, que exhibe un IS de 30 m; y clase tres, que posee un IS de 27 m (Vallejos, 2003).

El desarrollo de los rodales en términos volumétricos para cada clase de sitio se estimó utilizando simuladores específicos. En el caso de las plantaciones de *Pinus Radiata*, se usó el simulador Radiata Plus, con el cual se pueden proyectar edades entre cuatro y 30 años. Para el caso del híbrido I-488 se utilizó el simulador Salica, desarrollado por Vallejos (2003), el cual permite una estimativa entre cuatro y 14 años. Sin embargo, la estimación de volumen se realizó de acuerdo al lapso considerado en los contratos de venta de bonos de carbono, los cuales, para los efectos de esta investigación, y en concordancia con la reglamentación al respecto, se definen como 21 años en el caso de *Pinus Radiata* y de 12 años para el híbrido I-488.

Para obtener la biomasa total de los fustes, para cada especie, se multiplicó su respectivo volumen por su densidad básica (Mardones, 1988); para el caso de las plantaciones de *Pinus Radiata* se considero una

densidad de 0,405 t m⁻³, y para las plantaciones del híbrido I-488 de 0,281 t m⁻³. El carbono fijado se obtuvo multiplicando la biomasa calculada por la fracción de carbono, cuyo valor promedio corresponde a 0,5 y que ha sido utilizado en diversos estudios.

Dado que los bonos provenientes de CERs se expresan en toneladas de CO₂, es decir, un CERs equivale a una tonelada de CO₂ reducido, este carbono debe ser expresado en CO₂, para lo cual se utilizó la siguiente equivalencia correspondiente a los pesos atómicos de los elementos: una tonelada de carbono fijado = 3, toneladas de CO₂.

En este estudio se asumió que ambas plantaciones (pino y álamo), asociadas a los proyectos de absorción de CO₂, están compuestas en partes iguales por sitios de clase uno, dos y tres. La estimación de la absorción de CO₂ ha⁻¹ asociada a cada proyecto se determinó calculando un promedio simple entre las absorciones de CO₂ ha⁻¹ de las distintas clases de sitios para cada especie.

2.3. Plantaciones de *Pinus Radiata*

De acuerdo a las clases de sitios anteriormente definidas, se realizó la simulación considerando el siguiente manejo: plantación a una densidad inicial de 1.111 árboles ha⁻¹, luego se definieron dos raleos a los nueve y 14 años respectivamente. Con la aplicación de los raleos, la densidad disminuyó a 600 y 400 árboles ha⁻¹. En el caso particular de la clase uno (con un IS de 28 m), se establecieron dos podas; a los seis años (3 m de altura), y a los siete años (5 m de altura). Como resultado de la simulación, de acuerdo a las condiciones anteriormente descritas, se obtuvieron los siguientes resultados para cada clase (al año 21):

- Clase uno (IS de 28 m): 291,730 t de CO₂ ha⁻¹
- Clase dos (IS de 24 m): 241,387 t de CO₂ ha⁻¹
- Clase tres (IS de 20 m): 191,714 t de CO₂ ha⁻¹

Por lo tanto, la absorción de CO₂ para el caso del pino asciende a 241,610 t de CO₂ ha⁻¹.

2.4. Plantaciones de híbrido de *Populus*

En este caso no se utilizó ningún tipo de manejo especial, ya que para los híbridos de *Populus* se planta a una densidad final, que para esta investigación, corresponde a 312 árboles ha⁻¹. Como resultado de la simulación realizada, de acuerdo a las condiciones anteriormente descritas, se obtuvieron

los siguientes resultados por clase (al año 12):

- Clase uno (IS de 34 m): 184,448 t de CO₂ ha⁻¹
- Clase dos (IS de 30 m): 147,928 t de CO₂ ha⁻¹
- Clase tres (IS de 27 m): 105,166 t de CO₂ ha⁻¹

Por lo tanto, la absorción de CO₂ para el caso del álamo asciende a 145,847 t de CO₂ ha⁻¹.

2.5. Evaluación económica

Se definió como horizonte de evaluación 21 años para el caso de las plantaciones de pino y 12 años para el álamo. Todos los flujos de ingresos y egresos de la evaluación económica se encuentran expresados en dólares reales de septiembre del 2004.

Los ingresos relevantes corresponden a los ingresos por la venta de los tCERs de pino o álamo, según corresponda, los cuales se perciben el mismo año en que ocurre la verificación y el monitoreo. Para el caso del pino, el primer ingreso se recibe el año seis y luego cada cinco años hasta el final del horizonte de evaluación del proyecto. Con respecto al álamo, los ingresos se perciben en el año 7 y luego en el año 12. Para los efectos del cálculo de los precios de los tCERs generados por las plantaciones, se utilizó el rango del "Escenario Medio" presentado por CAEMA (2004) y la metodología presentada por Pedroni y Locatelli (2004a,b) basada en el carácter de no permanencia de los CERs forestales. La fórmula que recoge lo anterior es la siguiente:

$$SeCER = \$CER_{p1} - \frac{\$CER_{p2}}{(1+i)^{VU}} \quad (1)$$

donde: $SeCER$ es el precio estimado de un tCER o ICER, $\$CER_{p1}$ el precio actual de un CER permanente, $\$CER_{p2}$ el precio futuro de un CER permanente cuando vence el CER forestal, es la tasa de descuento aplicable al contexto económico del comprador de certificados en el país, y corresponde a la vida útil de un tCER o ICER.

Los egresos relevantes corresponden al proceso que tiene por objeto la certificación de la absorción de CO₂ del proyecto. Los egresos considerados en cada proyecto fueron: diseño (en el año cero), correspondiente a US \$60.000; validación y registro (en el año uno), correspondiente a US \$60.000; monitoreo (cada cinco años), correspondiente a US \$2.000 (por el total de la plantación) más US \$0,1 ha⁻¹; y verificación (cada cinco años), correspondiente a US \$45.000.

2.5.1. Tasa de descuento relevante (costo de capital)

Para la estimación de la tasa de descuento relevante se utilizó el costo de capital promedio ponderado (WACC) reportado por Miles y Ezzell (1980), dado que los proyectos a evaluar económicamente en esta investigación corresponden a proyectos financiados un porcentaje con deuda y otro con patrimonio; su expresión matemática es la siguiente:

$$CCPP = K_s * \frac{S}{V} + K_d * (1 - T) * \frac{D}{V} \quad (2)$$

donde K_s representa el costo de capital patrimonial (dado el riesgo sistemático y estructura de financiamiento del proyecto o empresa), $\frac{S}{V}$ corresponde a la proporción de la inversión que es financiada con recursos propios, K_d corresponde al costo de la deuda, T es la tasa de impuesto a la renta imputable al proyecto, $\frac{D}{V}$ y es la proporción de la inversión que es financiada con deuda. El K_s se obtuvo utilizando el modelo de valoración de activos de capital, CAPM (Sharpe, 1964; Lintner, 1965; Mossin, 1966), cuya expresión es la siguiente:

$$E(R_j) = R_f + (E(R_m) - R_f) * \beta_j \quad (3)$$

en donde $E(R_j)$ representa la esperanza de los retornos de la empresa *proxy* (Forestal Terranova S.A.); R_f expresa la rentabilidad que proporciona un activo libre de riesgo, para los efectos de esta investigación se utilizó el último dato disponible de los Bonos del Banco Central de Chile en unidades de fomento (BCU) a 20 y 10 años plazo, para pino y álamo, respectivamente; $E(R_m)$ representa la esperanza de la rentabilidad de la cartera de mercado, la cual se definió en este caso como la cartera que es representada por el Índice General de Precios Accionarios (IGPA); y β_j representa la sensibilidad de los retornos de la empresa *proxy* a los retornos de la cartera de mercado. El β_j fue estimado utilizando el modelo de mercado, que permite estimar el coeficiente beta a partir de un modelo de regresión lineal simple, cuya representación es la siguiente:

$$R_j = \alpha + \beta_j * R_M + \varepsilon \quad (4)$$

En este modelo R_j corresponde a la rentabilidad por período del activo j (empresa *proxy*), y es la variable que se desea explicar; es un término constante; R_M

representa a la rentabilidad periódica del *portfolio* de mercado (representado en este estudio por el IGPA) y es la variable que explica el retorno del activo j ; β_j es el coeficiente que acompaña a la variable explicativa y corresponde a la estimación del verdadero beta del activo; y ε es un término de error. En el caso de este estudio, para β_j se utilizó la rentabilidad real mensual entre el periodo noviembre 1999 y octubre 2004. Para la estimación del beta (β_j) se utilizó el programa estadístico SPSS 11.01

Una vez obtenido el beta, más la rentabilidad real mensual proveniente de los BCU (para el pino 0,42% y para el álamo 0,27%) y la rentabilidad promedio real mensual del mercado (0,93%), se procedió mediante el modelo CAPM a la determinación del K_s (mensual) para cada proyecto. Se obtuvo un costo de capital patrimonial anualizado de 17,43% para el caso del pino y de 19,16% para el álamo. En esta estimación, se asumió la misma estructura de financiamiento de la empresa *proxy*, para lo cual se utilizó la información presentada en el balance consolidado al 30 de junio de 2004.

Una vez obtenido el K_s correspondiente a cada tipo de proyecto (pino y álamo), dada la estructura de financiamiento (41,92% de capital propio y 58,08% de deuda) y la tasa impositiva respectiva (17%), se determinó el K_d . Para ello se optó por utilizar el promedio de la razón gastos financieros a deuda largo plazo de todos los balances de la empresa *proxy* correspondientes al periodo junio 2001 a junio de 2004. Aun cuando este criterio presenta limitaciones, se consideró como el más coherente con el criterio general de la estimación del costo de capital utilizado.

2.6. Identificación de efectos secundarios e indirectos

En cuanto a la identificación de los efectos secundarios y efectos indirectos (encadenamientos "hacia atrás" y "hacia adelante"), se consideró lo reportado por la literatura respecto a experiencias en este tipo de proyectos, la cual fue contrastada con los aspectos teóricos planteados por algunos autores (Fontaine, 1997 y Sapag y Sapag, 2000). Básicamente, lo que se realizó fue considerar lo que otros autores califican como efectos secundarios e indirectos, evaluar la validez de dicha calificación y discutir y analizar la relevancia de imputar dichos efectos al proyecto de absorción de dióxido de carbono. En definitiva, se analizó su relevancia en la situación con y sin proyecto. Además de lo anterior, se discutió la posibilidad de otros efectos, con el objeto de poder identificar alguno(s) que no haya(n) sido

considerado(s) por los autores consultados, analizando también su relevancia.

2.7. Identificación de los principales efectos del riesgo

Para incorporar los efectos del riesgo (aquellos no considerados por el modelo CAPM), los resultados de la evaluación (VAN y TIR) fueron sensibilizados por las variables decisorias, en este caso: 1) variables presentes en la fórmula de precio utilizada para incorporar el efecto de la no permanencia en los CERs forestales (salvo la VU), éstos son $\$CER_{p1}$ y $\$CER_{p2}$, ambos iguales con valores de 5 a 9 US \$ (con saltos de US \$1) e con valores de 1 a 5% (con saltos de 1%); 2) Costos asociados a los proyectos; mediante un factor de costo (FC) que va de uno a tres (con saltos de 0,5) y mediante un factor de modalidades y procedimientos simplificados (FM&PS), el cual va de 0,2 a 1,0 (con saltos de 0,1); y 3) número de ha

consideradas para los proyectos, con predios de 1.000 a 10.000 ha (con saltos de 500 ha).

La sensibilización se efectuó a través de Microsoft Excel, realizando una estructuración de líneas de código en Visual Basic Application, obteniéndose con esto un total de 21.375 resultados posibles para cada especie o proyecto.

3. RESULTADOS

La tasa de descuento relevante para la evaluación económica (WACC) se estimó en un 10,4% para el pino y 11,1% para el álamo. De los 21.375 escenarios para cada especie arrojados por la sensibilización de la evaluación económica, en los cuadros 1 y 2 se presentan el VAN máximo y mínimo junto con sus respectivas desviación estándar, para cada tipo de plantación, además de la definición de tres escenarios generales.

Cuadro 1. Resultados generales de la sensibilización (US \$ ha⁻¹)

| Indicador | Pino | Álamo |
|---------------------|--------|--------|
| VAN máximo | 181,04 | 114,39 |
| VAN promedio | 75,71 | 44,61 |
| VAN mínimo | -95,01 | -87,51 |
| Desviación estándar | 45,59 | 30,14 |

Fuente: Datos de la investigación

Cuadro 2. Resultados de los escenarios generales de la sensibilización (US \$ ha⁻¹)

| Escenario | Pino | Álamo |
|--------------------------|--------|-------|
| Optimista ¹ | 121,30 | 74,74 |
| Conservador ² | 75,71 | 44,61 |
| Pesimista ³ | 30,11 | 14,47 |

Fuente: Datos de la investigación

¹VAN promedio más desviación estándar

²VAN promedio

³VAN promedio menos desviación estándar

Dado que la variable número de ha es la única que puede ser controlada por el dueño del proyecto, se presentan los resultados a través tres escenarios, en función de dicha variable: 1) Optimista, el cual fue definido como el promedio de las variables no controlables más (menos) la desviación estándar de éstas, dependiendo de la correlación de la variable

en forma positiva (negativa) respecto al VAN de cada proyecto; 2) Conservador, se definió como el promedio de todas las variables no controlables; y 3) Pesimista, definido como el promedio de cada variable no controlable menos (más) su desviación estándar según corresponda (Cuadros 3, 4 y 5).

Cuadro 3. Valores de las variables críticas en los distintos escenario

| Escenario | Tasa (%) | US \$ por CERs | FC | FM&PS |
|-------------|----------|----------------|------|-------|
| Optimista | 4,41 | 8,41 | 1,29 | 0,34 |
| Conservador | 3,00 | 7,00 | 2,00 | 0,60 |
| Pesimista | 1,59 | 5,59 | 2,71 | 0,86 |

Fuente: Datos de la investigación

Cuadro 4. Evaluación económica del Pino en los tres escenarios para distintos tamaños de plantación

| Número ha | Optimista | | Conservador | | Pesimista | |
|-----------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| | VAN (US \$) | TIR (%) | VAN (US \$) | TIR (%) | VAN (US \$) | TIR (%) |
| 1.000 | 135,54 | 37,65 | 43,30 | 17,25 | -51,45 | 1,76 |
| 2.000 | 144,22 | 50,50 | 66,88 | 25,48 | -5,81 | 8,99 |
| 3.000 | 147,11 | 59,39 | 74,73 | 31,03 | 9,40 | 13,15 |
| 4.000 | 148,56 | 66,35 | 78,66 | 35,40 | 17,01 | 16,20 |
| 5.000 | 149,43 | 72,14 | 81,02 | 39,06 | 21,57 | 18,66 |
| 6.000 | 150,01 | 77,11 | 82,59 | 42,26 | 24,61 | 20,75 |
| 7.000 | 150,42 | 81,49 | 83,71 | 45,11 | 26,79 | 22,59 |
| 8.000 | 150,73 | 85,42 | 84,56 | 47,69 | 28,42 | 24,24 |
| 9.000 | 150,97 | 88,99 | 85,21 | 50,06 | 29,68 | 25,74 |
| 10.000 | 151,16 | 92,26 | 85,73 | 52,26 | 30,70 | 27,13 |

Fuente: Datos de la investigación

Cuadro 5. Evaluación económica del Álamo en los tres escenarios para distintos tamaños de plantación

| Número ha | Optimista | | Conservador | | Pesimista | |
|--------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| | VAN (US \$) | TIR (%) | VAN (US \$) | TIR (%) | VAN (US \$) | TIR (%) |
| 1000 | 81,54 | 41,58 | 16,07 | 16,19 | -53,91 | . |
| 2000 | 89,03 | 55,17 | 36,40 | 27,01 | -14,55 | 3,89 |
| 3000 | 91,53 | 63,93 | 43,18 | 33,88 | -1,43 | 10,24 |
| 4000 | 92,78 | 70,54 | 46,57 | 38,95 | 5,13 | 14,64 |
| 5000 | 93,52 | 75,91 | 48,60 | 43,04 | 9,07 | 18,07 |
| 6000 | 94,02 | 80,46 | 49,96 | 46,51 | 11,69 | 20,89 |
| 7000 | 94,38 | 84,42 | 50,93 | 49,52 | 13,57 | 23,32 |
| 8000 | 94,65 | 87,93 | 51,65 | 52,20 | 14,97 | 25,45 |
| 9000 | 94,85 | 91,10 | 52,22 | 54,62 | 16,07 | 27,36 |
| 10000 | 95,02 | 93,99 | 52,67 | 56,82 | 16,94 | 29,08 |

Fuente: Datos de la investigación

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El universo de resultados posibles (21.375 para cada especie), no permite emitir un juicio respecto a la conveniencia económica (privada) de este tipo de proyectos con el grado de certeza que se desearía. No obstante, debido a la definición de los escenarios presentados a partir de dicho universo, igualmente se pueden extraer conclusiones importantes.

Del total de resultados, dados los posibles valores considerados para las variables críticas, el VAN máximo (mínimo) corresponde a una situación en que todas las variables simultáneamente asumen los mejores (peores) valores, en términos de su incidencia en el VAN. Es decir, un precio presente y futuro de los CERs de US \$ 9 (US \$ 5), tasa de interés del comprador de 5% (1%), una plantación de 10.000 ha (1.000 ha), FC igual 1 (3) y FM&PS de 0,2 (1,0). Se puede apreciar que entre el VAN ha⁻¹ máximo y mínimo hay una diferencia de US \$ 276,14 dólares

para el pino y US \$ 84,26 para el álamo. Es decir, existe una variabilidad considerable, que de acuerdo al coeficiente de variación asciende a 60,22 y 67,56% respectivamente; por lo tanto, las variables críticas como un todo, confirman su carácter.

No obstante, dado los valores extremos que tendrían que asumir las variables críticas para que se produjera el VAN máximo o el VAN mínimo, se consideró conveniente extraer conclusiones adicionales a partir de los escenarios definidos. De éstos, para el total de los valores, se puede apreciar igualmente una variabilidad considerable, que de acuerdo al diferencial entre el VAN máximo y mínimo corresponde a US \$ 91,85 y US \$ 60,28 para el pino y álamo, respectivamente.

De las variables críticas que inciden sobre el retorno económico de los proyectos evaluados, sólo el número de hectáreas de la plantación puede entenderse como variable controlable o endógena (aunque hasta cierto punto), mientras que las otras

variables están determinadas por el mercado, es decir, son no controlables o exógenas para el tomador de la decisión. Por lo tanto, para evaluar económicamente este tipo de proyectos lo conveniente es definir escenarios, sobre la base de criterios razonables respecto del comportamiento de las variables determinadas por el mercado. Dado lo anterior, parece conveniente realizar la evaluación en función de la variable controlable.

Dada la existencia de economías de escala asociadas a la variable controlable (*ha*), el VAN máximo, en el contexto de los escenarios definidos, estará sujeto a la disponibilidad de superficie de plantación para asignar a cada proyecto. Sin embargo, para una superficie superior a 10.000 ha el aumento en el VAN ha^{-1} es marginal, comportándose de forma asintótica para predios de tamaño mayor.

En los escenarios definidos para los distintos tamaños de predio también se apreciaron rangos considerables de VAN ha^{-1} . Esto sugiere que sería conveniente esperar a que se desarrolle más el mercado, se produzcan transacciones de tCERs forestales y las empresas encargadas de los servicios necesarios para cumplir con la certificación de la absorción de CO_2 comiencen a competir de manera que sea posible hacer estimaciones más certeras de las variables claves.

Se observó un significativo impacto de la cantidad de CO_2 fijado sobre los resultados económicos, el cual, para efectos de este estudio se supuso como un valor cierto (e igual al estimado por los simuladores). Sin embargo, distintas clases de manejo silvícola pueden arrojar como resultado distintas cantidades de absorción de CO_2 . Por lo tanto, parece recomendable realizar un análisis de costo beneficio de dichos manejos "especiales" con el objeto de determinar si el beneficio marginal es mayor al costo marginal respectivo. En este estudio se realizó el supuesto que los beneficios marginales no justifican un manejo distinto al realizado.

En lo que se refiere al costo de capital utilizado para descontar los flujos de caja netos asociados a los proyectos, se observó un apreciable efecto sobre los resultados económicos. Las distintas tasas de descuento calculadas (para pino y álamo), explicadas por la diferencial de tasas de los BCU de 10 y 20 años, implicaron una mayor exigencia, en términos de rentabilidad económica mínima exigida, al caso del álamo y por lo tanto, en término relativos, un efecto negativo sobre su VAN.

Si hipotéticamente se tuviera que escoger entre ambas especies considerando sólo el valor generado por la comercialización de tCERs, se recomienda el pino por sobre álamo, pues aun cuando ambos proyectos no poseen el mismo horizonte de evaluación, dado que por su naturaleza no se pueden replicar en las mismas condiciones, no es posible compararlos en un mismo horizonte temporal, por lo que se debe escoger en base al criterio del VAN, el cual indica que en todos lo escenarios posibles el pino genera más riqueza por concepto de comercialización de tCERs.

Un aspecto que se debe tener presente es que la línea base, en términos de absorción de CO_2 sin proyecto, no necesariamente es igual a cero. Para efectos de la reglamentación MDL, se evalúa como cero, si es que se asume que sin plantación el predio tendría una captura neta igual a ese valor. Sin embargo, en términos económicos, entendiendo que la situación con proyecto es una plantación que vende su absorción de CO_2 , y como escenario sin proyecto la misma plantación sin entrar al MBC, se puede afirmar que no habría absorción relevante y, por lo tanto, cualquier efecto secundario o indirecto que se le atribuya al proyecto de absorción debe no existir si no se ingresa al mercado del carbono, aun cuando se siga explotando el bosque en términos de su madera. Es decir, dichos efectos deben existir con proyecto de absorción, pero no sin proyecto, aun cuando la plantación igual exista para explotar la madera. Por lo tanto, todos los autores que conciben el negocio de la venta de CERs forestales como una fuente de generación de valor adicional al generado por la venta de la madera y que atribuyen al proyecto de absorción las externalidades positivas (por ejemplo las ambientales), no estarían identificando correctamente la situación con y sin proyecto, en términos de los efectos relevantes.

Distinto sería el caso si el valor generado por el negocio de la venta de CERs determinara la decisión de establecer una plantación. En esa situación dichos efectos podrían atribuírsele al proyecto MDL, pero sólo en parte, pues es muy probable que gran parte de esa determinación esté influenciada por el valor que genera la explotación maderera. Por lo tanto, en términos agregados se podría determinar un factor de ponderación que indique cuánto peso tuvo en la decisión de establecer la plantación el valor generado por la explotación de la madera y cuánto tuvo el generado por la venta de CERs forestales (y otros factores si los hubiera), para determinar cuánto de

dichos efectos son realmente atribuibles al proyecto de absorción de CO₂.

En términos privados, es evidente que estos proyectos generan riqueza. Sin embargo, en términos sociales es discutible; probablemente, en términos netos, destruyan riqueza. Esto considerando que muchos de los proyectos de absorción de CO₂ se sirven de una plantación que igualmente se iba a realizar sin ellos, por lo que realmente no hay adicionalidad; y lo que hay es un ahorro de costos (en términos netos) para el comprador privado que debe reducir sus emisiones y un aumento de ingresos netos por parte del dueño de la plantación, además de la consecuente entrada de divisas por concepto de venta de CERs, creación de puestos de trabajo relacionados con el proceso de certificación; distribución de riqueza de un país desarrollado a uno en desarrollo, entre otros. Todo discutible, al comparar el efecto negativo en términos sociales provocado por una sustitución de una reducción de emisiones real por una artificial, que en muchos casos será representada por un proyecto forestal MDL. Por lo tanto, más que externalidades positivas, podría provocar externalidades negativas.

El argumento de que se crean nuevos puestos de trabajo en el país anfitrión (donde se planta), que se impulsa el desarrollo de las comunidades locales, entre otros, solamente es válido cuando la alternativa a la plantación es prácticamente una situación de cero producción. Si así fuera, estos efectos serían de acuerdo a la definición de escenario con y sin proyecto, atribuibles a la plantación y no al proyecto adicional de venta de tCERs generados por el CO₂ absorbido por la plantación.

Por lo tanto, se concluye que en términos privados el proyecto de absorción de CO₂ es una buena oportunidad de negocio, tanto para el comprador de tCERs como para el vendedor. Pero socialmente los resultados son discutibles y van a depender de cada situación en particular. Todo lo anterior, en lo que se refiere a plantaciones. Si fueran permisibles proyectos de conservación de bosque nativo, el análisis sería distinto.

REFERENCIAS

Brown, S. G.; Gillespie, A. J. R. y J.R.A. Lugo. 1989. Biomass estimation methods for tropical forest with application to forest inventory data. *Forest Science*, Washington, 4(35), pp. 881-902.

Chidiak, M.; Moreyra, A. y C. Greco. 2003. *Captura de carbono y desarrollo forestal sustentable en la Patagonia Argentina: sinergias y desafíos*. Buenos Aires, Universidad de San Andrés, Argentina, 133p.

Fontaine, E. 1997. *Evaluación Social de Proyectos*, 11ª Ed. Ediciones, Universidad Católica de Chile, 466p.

Gayoso J. y A. Schlegel. 2001. *Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono*. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Proyecto Fondef "Captura de Carbono", 15p.

Gutiérrez, H. 1994. *Evaluación de Proyectos ante Certidumbre*, Editado por la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Chile, 272p.

Gutiérrez, V. y G. Lopera. 2001. Valoración económica de la fijación de carbono en plantaciones tropicales de *Pinus patula*, Universidad Nacional de Colombia, 19p. "Simposio Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales", 2001, Valdivia, Universidad Austral de Chile.

Haltia, O. y K. Keipe. 1997. *Financiamiento de Inversiones Forestales en América Latina: El Uso de Incentivos*, Washington D.C., Inter - American Development Bank, Sustainable Development Department, 29p.

Husch, B. 2001. Estimación del contenido de carbono de los bosques, Simposio "Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales" 2001, Valdivia, Universidad Austral de Chile, 9p.

Lintner, J. 1965. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets, *Review of Economics and Statistics*, 47(1), pp. 13-37.

Loguercio, G. 2002. Fijación de Carbono: Un beneficio adicional para proyectos forestal en Patagonia, Área de gestión Ambiental, CIEFAP Patagonia Forestal Año VIII, Vol. 2.

López, H. y M. Villena. 2003. Incentivos Económicos y Política Forestal Óptima: Beneficios de Captura de Carbono para el caso chileno, Universidad de Concepción, Departamento de Economía, 61p.

Loza, I. 2001. Impacto del mercado del Carbono en la Performance Económica de Proyectos Forestales.- Estudio de Caso para *Pinus taeda* en Uruguay, Simposio "Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales" 2001, Valdivia, Universidad Austral de Chile.

Mardones, L. 1988. *Tablas técnicas para uso forestal*, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal, Universidad de Talca, 22p.

Miles, J. y J. Ezzell. 1980. The weighted average cost of capital, perfect capital markets, and project life: a clarification, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 15(3):719-730.

Mossin, J. 1966. Equilibrium in a capital asset market, *Econometrica*, 35(5):768-783.

Parresol, B. y C. Thomas. 1996. A simultaneous density - integral system for estimating stem profile and biomass: slash pine and willow oak, *Can. J. For. Res.*, 26:773-781.

Pedroni, L. y B. Locatelli. 2004a. Escala mínima viable. Reunión Consultiva en Proyectos de Forestación y Reforestación de pequeña escala dentro del MDL, 1-3 de marzo 2004, Lima, Perú. 20p.

————— 2004b. Mecanismo para un Desarrollo Limpio: ¿Un incentivo para pequeños emprendimientos forestales?, 11p.

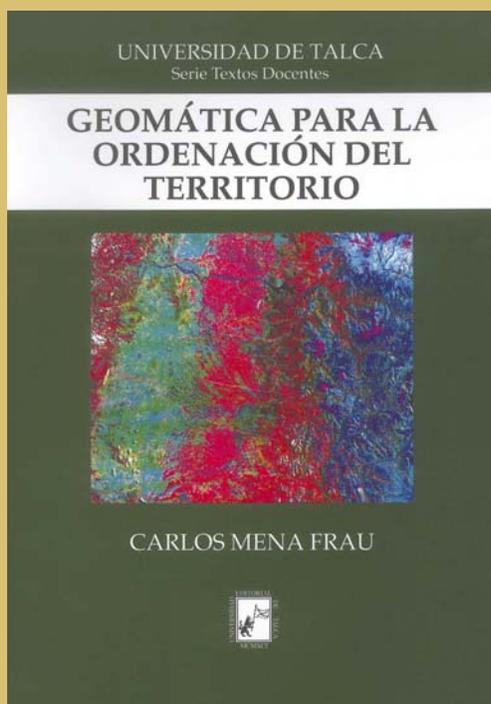
Peters, R., Jobet y S. Aguirre. 1985. Compendio de tablas auxiliares para el manejo de plantaciones de pino insigne. Manual 14, INFOR. 140p.

Sapag, N. y R. Sapag. 2000. *Preparación y Evaluación de Proyectos*, Cuarta Edición, McGraw-Hill. 408p.

Sharpe, W.F. 1964. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk, *Journal of Finance*, 40(3), pp. 425-442.

Vallejos, O. 2003. Sistema de simulación de crecimiento e producción de *Populus spp.* en Chile (Sistema SALICA), Tesis Doctoral, Universidad Federal de Paraná, Sector de Ciencias Agrárias. 135p.

Villalobos, F. 1999. *Estimación del Costo Marginal de los Servicios de Fijación de Carbono en Costa Rica*, Curso Internacional de Cambio Climático en los sectores forestales y energéticos, 23-27 de septiembre de 2002, Costa Rica, 31p.



www.otalca.cl

editorial@otalca.cl

**GEOMÁTICA PARA LA
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**
Carlos Mena

EDITORIAL UNIVERSIDAD DE TALCA - CHILE