

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros

Agrónomos y de Montes

TESIS DOCTORAL

**AJUSTE DE MODELOS DE CAPTURA DE CARBONO
PARA EL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE Y
SU ANÁLISIS BIOECONÓMICO EN LA
RESERVA NACIONAL MALLECO - CHILE**

NORMAN RENÉ MORENO GARCÍA

**Septiembre / 2011
Córdoba-España.**

TITULO: *Ajuste de modelos de captura de carbono para el tipo forestal
Roble-Raulí-Coigüe y su análisis bioeconómico en la reserva nacional
Malleco-Chile*

AUTOR: *Norman René Moreno García*

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2012
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

www.uco.es/publicaciones
publicaciones@uco.es

ISBN-13: 978-84-695-1277-7

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Escuela Técnica Superior de Ingenieros

Agrónomos y de Montes

TESIS DOCTORAL

**AJUSTE DE MODELOS DE CAPTURA DE CARBONO
PARA EL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE Y
SU ANÁLISIS BIOECONÓMICO EN LA
RESERVA NACIONAL MALLECO - CHILE**

Tesis Doctoral presentada por Norman René Moreno García,
para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba,
bajo la dirección del Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca
profesor del Departamento de Ingeniería Forestal de la
Universidad de Córdoba.

El Doctorando:

Norman René Moreno García

El Director de la Tesis:

Dr. Miguel Ángel Herrera Machuca.

Co-Directores de la Tesis:

Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Dr. Nelson Hernán Ojeda Ojeda

Córdoba, 2011.

MIGUEL ÁNGEL HERRERA MACHUCA, Profesor Titular del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, de acuerdo al artículo 34 de las Normas Regulatoras de Doctorado de esta Universidad, junto a los codirectores, Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira y Dr. Nelson Hernán Ojeda Ojeda

AUTORIZAN a D. Norman René Moreno García, Ingeniero Forestal, para la presentación del trabajo que con el título **AJUSTE DE MODELOS DE CAPTURA DE CARBONO PARA EL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE Y SU ANALISIS BIOECONOMICO EN LA RESERVA NACIONAL MALLECO - CHILE**, ha sido realizado bajo mi dirección como Tesis para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba.


Córdoba a uno de Septiembre de 2011.



Fdo. Miguel Ángel Herrera Machuca



Fdo. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira



Fdo. Nelson Hernán Ojeda Ojeda

Parte de los datos de esta tesis, han sido presentados en los siguientes eventos científicos:

I Jornadas “Nuevos Paradigmas en la gestión Forestal Sostenible”, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba (ESPAÑA, 2008).

I Seminario de Gestión Sostenible del Paisaje y de los Recursos Naturales, Departamento de Ingeniería Forestal, Universidad de Córdoba (ESPAÑA, 2010).

Agradezco...

*A mi padre, quien alentó este proyecto desde su inicio y hoy lo
sigue desde el cielo,*

A mi madre por transmitirme amor, valor y fuerza,

A Nancy mi mujer por detenerse para que yo avanzará,

A mi hijo Nicolás por dar vida a mi vida,

A mi hermano Roberto por la posibilidad de crecer juntos,

A mi hermano Rubén por su constante apoyo a mis proyectos,

A mi hermano Cristián por su cariño y ánimo a este proyecto,

Amigos y profesores,

A mi amigo y profesor Miguel Ángel Herrera por su calidad humana y profesional, por corregir rumbo y alentar cuando la

pena disminuye las fuerzas,

A mi amigo y profesor Rinaldo Ferreira Caraciolo por enseñar

que se es amigo antes que científico,

A mi amigo Juan Ramón Molina por tantos cafés de ánimo y

preocupación por mi familia,

A mi amigo José Carlos Villamandos por su constante aliento y

empuje a la finalización de este proyecto,

A mi amigo y profesor Nelson Ojeda Ojeda por la dirigir mi

sueño hacia un proyecto,

Al profesor Jiří Kulhavý por su gran ayuda y aporte a este proyecto durante mi estancia en la Universidad de Mendel,

República Checa,

A mis colegas y amigos Juan José Rojas Galvis y Ladislav Menšík por su acogida y guía durante mi estancia en República

Checa.

Amigos y la esgrima,

A mi mano y amigo José María Ruiz Mateo y familia por su constante apoyo y protección durante la realización de este nuestro proyecto,

A mi mano y amigo Emilo Quintela Ramos y familia por su cariño e inolvidables días de conversación de vida,

A mi mano y amigo Federico Vergne Martín y familia por su cariño y hermosos días de esparcimiento en familia,

A Javier Reina y Nahia Brown por su cariño y amistad,

A Manuel Carpio González por su carácter y simpatía,

A todo el club de esgrima Real Círculo de la Amistad de Córdoba por su cariño e inolvidables horas de buena esgrima,

INDICE

	Pag.
RESUMEN	14
SUMMARY	15
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	16
1.1. Antecedentes generales	16
1.2. Características generales del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe	19
1.2.1. Dinámica del bosque del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe	23
1.2.2. Regeneración del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe	24
1.2.3. Crecimiento de un bosque Raulí y Coigüe	25
1.2.4. Clima asociado	25
1.2.5. Suelos	25
1.2.6. Fauna asociada	25
1.3. Sustentabilidad de los bosques autóctonos	26
1.4. Objetivos General y Específicos	27
CAPÍTULO 2: INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA LA GESTIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES EN CHILE	
2.1. Importancia de los ingresos fiscales como financiamiento de la gestión ambiental la gestión ambiental	28
2.2. La gestión ambiental en Chile y sus instrumentos económicos	29
2.3. Instrumentos legales diseñados para la gestión ambiental en Chile	30
2.4. Pseudo Instrumentos Económicos de Gestión Ambiental	31
2.4.1. Incentivo en el Marco de la Ley de Bosque Nativo	32
2.4.2. Incentivos Tributarios para la Creación de Áreas Silvestres Protegidas Privadas	33
2.4.3. Incentivos Para la Protección de la Capa de Ozono	33
CAPÍTULO 3: CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL	
3.1. Marco Mundial del Cambio Climático	35
3.2. Conceptualización del Cambio Climático	36
3.3. Respuesta mundial al cambio climático	37
3.3.1. Referencias respecto al acuerdo mas importante: El Protocolo de kyoto	42
3.4. Ecosistemas forestales y el carbono	45
3.4.1. El bosque: Un sumidero de carbono	45
3.4.2. Ciclo del carbono	46
3.4.3. Captura y almacenamiento de carbono en los bosques	49
3.4.4. Efectos de la deforestación	51
3.4.5. Cuantificación del carbono	52
3.4.6. Mantener y aumentar los bosques como sumideros de carbono	53
3.5. Mercado internacional del carbono	54
3.5.1. Bases del mercado del carbono	55
3.5.2. Transacciones de carbono	57
3.5.3. Tipos de productos de carbono disponibles en el mercado	58
3.5.4. Tipos de secuestro de carbono transados	59

3.5.5.	Tipos de operaciones dentro del mercado de emisiones	60
3.5.6.	Contratos utilizados en el mercado de emisiones	61
3.5.7.	Beneficios de los PFCLC (proyectos forestales de captura y limitaciones de emisiones de carbono)	62
3.5.8.	Como acceder al mercado	64
3.5.9.	Principales bolsas de CO ₂ en el mundo	65
3.6.	Desarrollo de “Línea base” para diseño de proyectos de carbono	66
3.6.1.	Estructura del mercado de CER _s	68
3.6.2.	Análisis de de la demanda	68
3.6.3.	Análisis de la oferta	69
3.7.	Financiamiento de un proyecto MDL	70
3.8.	Los créditos temporales	70
3.9.	Mecanismos Financieros del Protocolo de Kyoto	71
3.9.1.	Los fondos de carbono	72
3.9.2.	Activos principales del mundo del carbono	72
3.9.3.	Derechos del PNA I	72
3.9.4.	Derechos del PNA II	73
3.9.5.	El mercado voluntario	74
3.10.	Comercio de emisiones fuera del ámbito del Protocolo de Kyoto	74
3.10.1.	Esquema de comercio de emisiones del Reino Unido (RU)	74
3.10.2.	Esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea (UE)	75
3.10.3.	Esquema de Reducción de Nueva Gales del Sur (Australia)	76
3.10.4.	Registro de acción de Clima de California	76
3.10.5.	Chicago Climate Exchange, ® Inc. (CCX®)	77

CAPÍTULO 4: EDAD ÓPTIMA DE ROTACIÓN PARA UN RENOVAL DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

4.1.	Descripción de la problemática actual del renoval	78
4.2.	Desarrollo natural de los bosques de Roble-Raulí-Coigüe	79
4.3.	Materiales	80
4.3.1.	El área de estudio	80
4.3.2.	Características de los bosques de Roble-Raulí-Coigüe en la Reserva Nacional Malleco	82
4.4.	Metodología	84
4.4.1.	Forma de las parcelas	84
4.4.2.	Diseño y ubicación de las parcelas	85
4.4.3.	Protocolo de medidas dasométricas en cada parcela	85
4.4.4.	Parcelas adicionales	86
4.4.5.	Calculo de volumen	86
4.4.6.	Determinación de turnos óptimos	87
4.5.	Resultados	90
4.5.1.	Estado dasométrico del bosque	90
4.5.2.	Esquema de manejo propuesto “corta selectiva”	92
4.5.3.	Evaluación económica del método utilizado	94
4.6.	Conclusiones	101

CAPÍTULO 5: AJUSTE DE MODELOS DE CAPTURA DE CARBONO PARA TIPO FORESTAL ROBLE – RAULÍ – COIGÜE EN LA RESERVA NACIONAL MALLECO

5.1.	Marco conceptual	103
5.2.	Evaluaciones de carbono mas utilizadas	103
5.2.1.	Stock acumulado	103
5.2.2.	Carbono en biomasa aérea	105
5.3.	Metodología de medición de carbono	105
5.3.1.	Elección del sitio de muestreo	105
5.3.2.	Diseño de inventario de carbono	106
5.3.3.	Selección del tamaño de la muestra	107
5.3.4.	Proceso de extracción de muestras	108
5.3.5.	Cálculo del carbono en base a volumen	109
5.3.6.	Cálculo del carbono en base a muestreo destructivo	111
5.3.7.	Elección de método de manejo para aumentar capacidad de captura de carbono en la Reserva Malleco	112
5.3.8.	Ajuste, análisis y selección de modelos	112
5.3.9.	Validación de modelos	113
5.4.	Resultados	115
5.4.1.	Datos dasométricos del bosque	115
5.4.2.	Stock de carbono en árboles de muestreo destructivo	116
5.4.3.	Determinación de la ecuación de carbono total a partir de muestreo destructivo	117
5.4.4.	Capacidad de captura de CO ₂ del renoval	122
5.5.	Discusión	125
5.6.	Conclusiones y Recomendaciones	127

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS BIOECONÓMICO DE LA CAPTURA DE CARBONO EN TIPO FORESTAL ROBLE – RAULÍ – COIGÜE EN LA RESERVA NACIONAL MALLECO

6.1.	Génesis de los análisis bioeconómicos	128
6.2.	Economía de los recursos naturales renovables	129
6.3.	Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio	133
6.3.1	Aceptabilidad	134
6.3.2.	Adicionalidad	134
6.3.3.	Externalidades	135
6.3.4.	Capacidad	135
6.4.	Ordenación de bosques	136
6.4.1.	Rendimiento máximo sustentable	136
6.4.2.	Modelo de Faustmann	137
6.5.	Análisis del turno óptimo en escenarios para secuestro de CO ₂ y conservación de la biodiversidad en renovales de Roble-Raulí-Coigüe	139
6.5.1.	Las plantaciones forestales y bosques nativos	141
6.6.	Bienes y servicios comercializables y no comercializables	142
6.7.	Estrategias para la política climática	142
6.8.	La biodiversidad	144
6.9.	Valorización de los ecosistemas forestales	146

6.9.1.	Los bienes forestales	148
6.9.2.	El agua	148
6.9.3.	Madera	149
6.9.4.	Productos no maderables	149
5.9.5.	Servicios económicos-ambientales del bosque	149
6.9.6.	Índices de diversidad	152
6.9.7.	Evaluación económica	154
6.10.	Análisis de capacidad de un renoval de Roble-Raulí-Coigüe manejado	156
6.10.1.	Superficie disponible de bosques nativos para manejo sustentable	156
6.10.2.	Producción del bosque nativo chileno	158
6.10.3.	El stock acumulado de los productos exportados	159
6.10.4.	Análisis de los escenarios propuestos: Con y Sin intervención mediante Modelos CO2FIX	162
6.10.5.	Levantamiento de información y metodología para establecer parámetros que permitan la modelación con CO2FIX	163
6.10.6.	Escenarios de productos para modelación con CO2FIX en renovales de Roble-Raulí-Coigüe	164
6.10.7.	Determinación de turno óptimo de rotación para renovales de Ro-Ra-Co mediante CO2FIX	164
6.11.	Resultados	165
6.11.1.	Resultados turno óptimo de carbono	165
6.11.2.	Discusión de turno óptimo de captura de carbono	169
6.11.3.	Conclusiones del turno óptimo de captura de carbono	170
6.12.	Resultados turno óptimo de valorización de la biodiversidad	171
6.12.1.	Conclusiones del turno óptimo de valorización de la biodiversidad	176
6.13.	Resultados modelo CO2FIX	178
6.13.1.	Cálculo de línea base del modelo CO2FIX v 3.1. en la Reserva Malleco	178
6.13.2.	Comparación de cálculo de línea base a los 80 años mediante modelo CO2FIX y muestreo destructivo	179
6.13.3.	Análisis de captura de carbono para escenarios Sin y Con manejo, utilizando modelo CO2FIX	180
6.13.4.	Beneficios del manejo de corrección en renovales de Ro-Ra-Co con fines de aumento de capacidad de captura de carbono	184
6.14.	Análisis del modelo CO2FIX para escenarios de producción	186
6.15.	Conclusiones generales	188

CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía	189
--------------	-----

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.	Bosque natural por tipo de bosque	20
Tabla 2.	Bosque natural por tipo forestal	20
Tabla 3.	Principales productos y servicios de los ecosistemas forestales	26
Tabla 4.	Actividades por sector industrial que contribuyen a la emisión de gases de invernadero	37
Tabla 5.	Distribución estimada del carbono a nivel global	48
Tabla 6.	Estimación de un promedio del almacenamiento de carbono por	51

	hectárea, en la biomasa de algunas comunidades vegetacionales	
	Mediciones requeridas para hacer comparaciones de cantidades de	
Tabla 7.	carbono entre líneas base y proyectos propuestos	67
Tabla 8.	Emisiones de CERs por país	69
Tabla 9.	Funciones de volumen para bosque nativo árbol completo	87
Tabla 10.	Tabla de rodal y existencia por clase de Dap (cm) y Altura (mt)	90
	Estadística descriptiva para muestra de ajuste y validación de diámetro	
	a la altura del pecho (cm), la altura total (m) y el volumen por árbol	
Tabla 11.	(m ³)	91
Tabla 12.	Criterio densidad de corta norma manejo Ro-Ra-Co (CONAF)	92
Tabla 13.	Costos asociados al manejo de renovales de bosques de Ro-Ra-Co	95
Tabla 14.	Turno óptimo de renoval SIN bonificación	98
Tabla 15.	Turno óptimo de renoval CON bonificación reforestación DL 701	99
Tabla 16.	Turno óptimo de renoval CON bonificación Ley 20.283	99
Tabla 17.	Características de los estados de desarrollo dentro de la Reserva	107
Tabla 18.	Modelos ajustados para cálculo de carbono a nivel de árbol	112
Tabla 19.	Situación base del renoval para cálculo stock carbono biomasa aérea	115
	Situación base del bosque adulto para cálculo de stock de carbono	
Tabla 20.	biomasa aérea	115
Tabla 21.	Contenido de carbono en árboles de muestreo destructivo	116
	Estadísticos para cada modelo ajustado para tipo forestal Ro-Ra-Co en	
Tabla 22.	la Reserva Nacional Malleco	119
Tabla 23.	Parámetros de los modelos ajustados para diámetros menores a 80 cm	119
Tabla 24.	Parámetros de los modelos ajustados para diámetros mayores a 80 cm	119
	Tabla de rodal y capacidad de captura de carbono del renoval a nivel	
Tabla 25.	de biomasa aérea	122
Tabla 26.	Carbono contenido en los árboles del renoval Ro-Ra-Co en la reserva	123
Tabla 27.	Contenido de carbono según objetivo de producción	123
Tabla 28.	Carbono contenido en los árboles por especie	124
Tabla 29.	Formulas de cálculo de índices de diversidad	153
Tabla 30.	Manejo diseñado para cálculo de turnos óptimos de Reserva Malleco	154
Tabla 31.	Precios de productos en la comuna de Temuco	154
Tabla 32.	Factores de conversión	155
Tabla 33.	Tabla de costos (CONAF, 2007)	155
Tabla 34.	Costos de cosecha (Drake y Cia, 2010)	156
	Superficie de bosque nativo potencialmente disponible para manejo	
Tabla 35.	sustentable	157
Tabla 36.	Planificación de manejo para rodales en estudio	159
Tabla 37.	Carbono contenido en los árboles antes de la cosecha I	161
Tabla 38.	Máximo de rentabilidad en captura de CO ₂	165
Tabla 39.	Índices de diversidad para cada rodal	171
Tabla 40.	Índices de diversidad para cada rodal luego de primera intervención	172
	Turno óptimo considerando bonificación por enriquecimiento	
Tabla 41.	(CONAF, 2007)	173
	Variación producida por los índices de diversidad luego de realizada la	
Tabla 42.	la primera intervención en la Reserva Nacional Malleco	175
	Carbono contenido en los árboles a los 80 años, estimado mediante	
Tabla 43.	datos obtenidos en muestreo directo	179
	Carbono contenido en los árboles a los 80 años, obtenido mediante	
Tabla 44.	modelo CO2FIX v.3.1.	180

Tabla 45.	Contenido de carbono mediante modelos CO2FIX para gestión de madera aserrable	182
Tabla 46.	Contenido d carbono mediante modelo CO2FIX para gestión de bioenergía	182

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1.	Distribución geográfica bosque nativo chileno (por tipo forestal)	22
Figura 2.	Compromiso de reducción de emisiones del Protocolo de Kyoto	42
Figura 3.	Como nace y donde se almacena el carbono	47
Figura 4.	Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal	50
Figura 5.	Distribución simplificada del carbono en el bosque	52
Figura 6.	Principales comparadores de CERs	69
Figura 7.	Fases de aprobación de proyectos MDL	71
Figura 8.	Tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe presente entre la séptima y décimo cuarta región de Chile	78
Figura 9.	Ubicación de área de estudio	81
Figura 10.	Distribución del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, dentro de la IX Región de la Araucanía y dentro de la Reserva	83
Figura 11.	Distribución del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, dentro de la Reserva	83
Figura 12.	Forma de las parcelas	84
Figura 13.	Diseño y ubicación de las parcelas	85
Figura 14.	Ubicación de las parcelas “bis”	86
Figura 15.	Distribuciones diamétricas del renoval	91
Figura 16.	Distribución diamétrica del renoval con manejo	97
Figura 17.	Ejemplo de stock acumulado para un bosque joven en crecimiento	104
Figura 18.	Esquematización de la reacción al clareo	109
Figura 19.	Método de evaluación de los desechos con el método de las intersecciones	111
Figura 20.	Repartición de carbono en un árbol	117
Figura 21.	Distribución de residuales de los modelos ajustados para diámetros menor o igual a 80 cm	120
Figura 22.	Distribución de residuales de los modelos ajustados para diámetros mayor a 80cm	121
Figura 23.	Representación gráfica de capacidad de captura de carbono a nivel de árbol por especie	124
Figura 24.	Tiempo de corte de acuerdo a los criterios biológicos	136
Figura 25.	Estructura analítica para los servicios que ofrece la diversidad biológica al sistema económico y social	146
Figura 26.	Turno óptimo productivo ambiental considerando captura de carbono	166
Figura 27.	Turno óptimo productivo ambiental considerando captura de carbono en un escenario con bonificación DL 701	167
Figura 28.	Turno óptimo productivo ambiental considerando captura de carbono en un escenario con bonificación Ley 20.283	168
Figura 29.	Producción de madera y valorización por conservación de la diversidad	174
Figura 30.	Línea base de Reserva Nacional Malleco	178

Figura 31.	Corta selectiva al año 45	181
Figura 32.	Permanencia de carbono en productos según modelo CO2FIX para gestión de madera aserrable	183
Figura 33.	Permanencia de carbono considerando bioenergía según modelo CO2FIX	184
Figura 34.	Respuesta al manejo, aumento de la capacidad de captura de carbono	185

RESUMEN

Los frecuentes fenómenos provocados por el cambio climático de orden global, derivado del uso de combustibles fósiles y la eliminación de cubiertas vegetales, han propiciado la negociación internacional de compromisos de reducción de emisiones y otras medidas para mitigar el aumento del calentamiento global, principalmente por parte de los países industrializados. Entre las alternativas de limitación, se ha propuesto acreditar la captura y limitación de emisiones de carbono, uno de los principales Gases Efecto Invernadero (GEI), en ecosistemas forestales.

En Chile existe una considerable superficie forestal, dividida en plantaciones exóticas y una no menos importante superficie de bosques autóctonos. Son estos bosques autóctonos los que hoy tienen una gran oportunidad de participar en el mercado de los servicios ambientales como sumideros de carbono. Especializarse en técnicas de gestión, su reglamentación, estimación de los turnos óptimos para la producción de madera y captura de carbono, metodología para poder estimarlo y su posterior valorización, permitirán la toma de decisiones para un desarrollo sustentable a nivel nacional, regional y local.

Este trabajo presenta el ajuste de modelos para la captura de carbono y su análisis bioeconómico para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe en la Reserva Nacional Malleco – Chile. Este tipo forestal actualmente se encuentra susceptible de ser manejado con fines productivos y ambientales debido a la reciente aprobación en el año 2008 de la Ley 20.282 de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.

Los modelos que mejor se ajustaron fueron $C = e^{b_0} dap^{b_1} h^{b_2}$ y $C = b_0 + b_1 (dap^2 h)$, donde C es el contenido de carbono (TonC/ ha), la variable dap es el diámetro a la altura del pecho y h es altura. Sus coeficientes de determinación ajustado fueron para $dap < a$ 80 cm 0,94 y 0,94 respectivamente y para $dap > a$ 80 cm sus coeficientes fueron 0,99 y 0,98.

Luego de la determinación de la capacidad de captura de carbono para este tipo forestal, se determinaron sus edades de rotación con respecto a la producción de madera que fue a los 46 años y si consideramos la captura de carbono y conservación de la diversidad más las bonificaciones contempladas en la legislación chilena para manejo de bosques autóctonos, los turnos óptimos quedan determinados a los 49 y 52 años respectivamente.

SUMMARY

Frequent events arising from global climate change, a cause of using fossil fuels and removing forest cover, have motivated the negotiation of international agreements to reduce emissions and other measures to mitigate the growth of global warming, mostly from industrialized countries. Among the alternatives of limitation, it has been proposed to credit the offset and limitation of carbon, a main greenhouse gas (GHG) in forest ecosystems.

Chile presents a considerable forest area, made of fast-growing exotic plantations and an important area of native forests. This context would allow for development of environmental projects related to forests, and specialization in management and techniques of environmental services, know about their regulations, economic benefits, distribution, how to add value and eventual increase in economic value, as well as recognize the factors that intervene in strengthening these initiatives as new alternatives to the management of forests.

This work presents the model adjustment for the capture of carbon and his analysis bioeconómico for the Forest Type Roble-Raulí-Coigüe in the National Reservation Malleco - Chile. This forest type nowadays is capable of there being handled by productive and environmental ends due to the recent approval in the year 2008 of the Law 20.282 of Recovery of the Native Forest and Forest Promotion.

The models who better adjusted were $C = e^{b_0} dap^{b_1} h^{b_2}$ and $C = b_0 + b_1 (dap^2 h)$, Where C is the content of carbon (TonC/has), the variable dap is the diameter at a height of the chest and h is a height. His coefficients of determination fitted went for dap <to 80 cm 0,94 and 0,94 respectively and for dap > to 80 cm his coefficients were 0,99 and 0,98.

After the determination of the capacity of capture of carbon for this forest type, his ages of rotation decided with regard to the production of wood that was at the age of 46 and if we consider more bonuses to be the capture of carbon and conservation of the diversity contemplated in to Chilean legislation for managing of autochthonous forests, the ideal shifts remain certain at the age of 49 and 52 respectively.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN GENERAL

1. 1. ANTECEDENTES GENERALES.

En el mundo hay una creciente preocupación por el aumento de la contaminación, calentamiento global y por las consecuencias negativas que tiene y tendrá sobre la calidad de vida de los seres humanos. Este ha sido tema de discusión en el ámbito científico, político, económico, social y ambiental. Actualmente, existe consenso científico de que el clima se verá alterado significativamente en este siglo, debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos.

La respuesta política internacional al cambio climático comenzó con la adopción de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) en 1992. Esta convención estableció un marco para la acción, cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, para evitar que la actividad humana interfiera peligrosamente con el sistema climático. La UNFCCC entró en vigor el 21 de marzo de 1994 y actualmente incluye a 194 Estados. En este contexto, el tratado de mayor relevancia y en el cual se centran los esfuerzos para combatir los efectos climáticos ya largamente señalados es el protocolo de Kyoto, el cual destaca al sector forestal como una de las muchas actividades a realizar en beneficio del cuidado del medio ambiente (Valero, 2004).

La XV Conferencia de Cambio Climático de Naciones Unidas COP15, celebrada entre los días 7 y 18 de diciembre de 2009, se cerró con un Acuerdo Político que satisface parcialmente las demandas tanto de países desarrollados como en desarrollo, especialmente si se tienen en cuenta las profundas discrepancias iniciales que había entre diversos grupos de países.

La constitución de un fondo de 10.000 millones de dólares anuales para el desarrollo de proyectos de mitigación y adaptación en países en desarrollo durante el período 2010-2012 es uno de los aspectos más positivos del acuerdo, ya que permitirá aplicar medidas dirigidas a prevenir inundaciones, sequías y otros impactos del cambio climático, así como aumentar el uso de las energías renovables. Este fondo deberá aumentar hasta 100.000 millones de dólares anuales para 2020.

Otros aspectos en relación con este acuerdo han sido que: se ha logrado pactar un documento que podrá ser ratificado por todos los países del mundo (algo que no logró el Protocolo de Kioto) y que en su negociación han intervenido los principales líderes mundiales, lo que demuestra que el cambio climático ya no es mera retórica. Además, el Acuerdo reconoce por primera vez a nivel político la necesidad de que la temperatura media global no aumente por encima de los 2°C, siguiendo las directrices establecidas por la comunidad científica internacional.

Una de las conferencias más concluyentes ha sido la decimosexta Conferencia de las Partes (COP-16), llevada a cabo en la ciudad de Cancún a fines de 2010, la cual dentro de varias medidas estableció los objetivos de emisiones máximas y medidas de mitigación (presentados en el marco del Acuerdo de Copenhague) para aproximadamente 80 países (incluyendo, todas las economías desarrolladas). De esta manera, este Acuerdo relaciona las promesas de los mayores emisores del mundo (entre ellos China, Estados Unidos, la Unión Europea, India y Brasil) a diversas metas y acciones para reducir las emisiones para el año 2020. La distinción entre países de Anexo I y países de no-Anexo I es aun más borrosa en el Acuerdo de Cancún que en el Acuerdo de Copenhague y esto es otro paso en la dirección correcta.

Es tradicionalmente conocido, aunque sólo sea de forma intuitiva por la sociedad, que las masas forestales desempeñan un papel decisivo en el ciclo global del carbono. No obstante, el reconocimiento expreso en los artículos 3.3 y 3.4 del Protocolo de Kyoto, sobre el papel que representa el uso del suelo, el cambio en el uso del suelo y la forestación ha despertado mucho interés, al entenderse que se abre un enorme abanico de alternativas para incrementar la fijación de carbono, mediante la gestión forestal (Valero, 2004).

La vegetación juega un papel preponderante en la absorción de CO₂, a través de los ciclos elementales de la fotosíntesis, transforma energía solar en química absorbiendo CO₂ del aire, fijando el carbono y liberando a la atmósfera oxígeno (O₂). De este principio es que nace la idea de la captura de carbono a través de sumideros (proyectos forestales), actividad incluida dentro del protocolo de Kyoto.

Para que esta idea fructifique es necesario avanzar en varios aspectos tales como las formas de transacción, los agentes participantes en el mercado, la manera de evaluar los proyectos forestales, como medir el aporte de absorción de carbono acumulado en los distintos ecosistemas forestales, distinguir las especies con mayor capacidad de captura

de carbono, manejo integral de masas boscosas que permitan la producción de bienes madereros y no madereros como lo son los servicios ambientales que presta un bosque y que hoy en día se valorizan y son transados en su propio mercado. Esta investigación centra su atención en uno de los tipos forestales mas representativos de los bosques autóctonos de Chile, como lo es el tipo forestal Roble – Raulí – Coigüe.

Ante una eventual participación de Chile en el incipiente mercado de los servicios ambientales en el mundo, surge la necesidad de reconocer y diseñar los mecanismos de gestión económica de estos mismos y su aplicabilidad en el contexto mundial actual.

La participación de los bosques autóctonos chilenos en la mitigación del cambio climático puede ser de gran importancia para el ambiente nacional y mundial. Los ecosistemas boscosos chilenos poseen características de suelo y clima que permiten el desarrollo y crecimiento óptimo para variadas especies del genero autóctonas chilenas especialmente las del tipo forestal Roble – Raulí – Coigüe.

La gran mayoría de la superficie donde se encuentran los renovales de Roble – Raulí y Coigüe se encuentra en manos de pequeños propietarios forestales, los cuales desarrollan actividades tanto agrícolas como forestales para su subsistencia. Para ellos un trabajo rentable dentro de sus bosques debe significar el rápido retorno de cualquier inversión productiva que realicen en sus tierras, por esta razón, la determinación del óptimo de rotación de este tipo de bosques les permitirá proyectar sus campos de forma sustentable permitiendo con esto un mejor aprovechamiento de sus recursos naturales.

Para que la sustentabilidad se cumpla de manera efectiva, se debe interiorizar en los propietarios forestales el concepto de “manejo”, este concepto les permitirá controlar y regular el uso de sus recursos naturales, junto con ofrecer nuevas alternativas económicas de los bosques, como lo son su capacidad de captura de carbono y conservación de la biodiversidad. Determinar la capacidad de captura y conservación de la biodiversidad dentro de este tipo de renovales, representa un avance para el desarrollo del sector forestal chileno en relación a sus bosques autóctonos.

Teniendo en cuenta la rentabilidad que espera un propietario forestal del manejo de sus bosques y sumando a ello la rentabilidad que le podría dar mediante un esquema de manejo orientado a la fijación de carbono, conservación de biodiversidad y producción de madera, se lograrían al cálculo de nuevos óptimos de rotación considerando la fijación de carbono, conservación de biodiversidad y producción de madera, abre la posibilidad de participación en otro tipo de mercado como lo es el ambiental, para los bosques autóctonos chilenos.

1.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

La industria asociada al manejo de los bosques cumple un papel relevante en la economía de Chile. El país cuenta con una superficie forestal de 15,9 millones de hectáreas (20,7% de la superficie total del país), incluyendo 2,3 millones de ha de plantaciones comerciales y 13,6 millones de ha de bosque nativo (INFOR, 2007). Los bosques autóctonos de Chile presentan una gran diversidad, lo cual los hace sistemas bióticos complejos difíciles de manejar.

Las especies nativas representan menos del 1,3% del volumen total de madera en trozas cosechada en el país y las exportaciones de estas especies (US\$ 17,8 millones en 2007) equivalen al 0,36% del total de exportaciones forestales. Más allá de estas cifras asociadas a productos de la madera, el bosque nativo (así como también las plantaciones con especies de alto valor) representa una enorme oportunidad de desarrollo no sólo mediante la generación de productos de la madera para construcción y muebles, sino también mediante la provisión de una gran diversidad de productos forestales no madereros, materia prima para energía (biocombustibles y leña y un conjunto de servicios ambientales, como el turismo de especial interés, la captura de y el pago de servicios ambientales.

En la Región de la Araucanía, se concentra el 7% del bosque nativo del país, por lo que poner en funcionamiento proyectos de manejo sustentable de este recurso como lo son el pago por captura junto a otros modelos de negocio viables como pueden ser el paisaje y la biodiversidad, ofrece grandes posibilidades de desarrollo competitivo para el conjunto de sectores productivos asociados.

En Chile estos bosques han sido clasificados en doce tipos forestales (1). Esta clasificación se basa principalmente en las especies que dominan la estructura superior relacionándola con la ubicación geográfica de estos (Donoso, 1981).

(1) Tipo forestal: Para clasificar los bosques en tipos forestales se debe basar en él o los árboles predominantes en un área definida. Para este estudio se consideraron doce tipos forestales que se contemplan en la legislación chilena. La definición legal del tipo forestal denominado Roble-Raulí-Coigüe considera la existencia de variados tipos de mezcla entre tres especies de *Nothofagus*.

Los recursos disponibles en la Región de la Araucanía de Chile en materia de superficie de bosques son de gran importancia. De la superficie de plantaciones del país (2.299.334 ha), la Región de la Araucanía concentra 442.106 ha, que representan el 19,2% del total nacional. La superficie regional está integrada principalmente por *Pinus radiata* D.Don, que representa el 60%, y el resto se distribuye en forma mayoritaria entre *Eucalyptus globulus* Mirb. y *Eucalyptus nitens* autor. De la superficie de bosques naturales del país (13.684.562 ha), la Región de la Araucanía concentra 966.263 ha, equivalentes al 7% del total nacional. De la superficie regional, los renovales (bosques secundarios de tamaño juvenil) alcanzan al 49% y el bosque adulto a casi el 29%.

Región de la Araucanía: bosque natural por tipo de bosque (hectáreas y porcentaje del total)		
Tipo de bosque	Superficie (ha)	% del total regional
Bosque adulto	277.940	28,8
Renoval	475.490	49,2
Bosque adulto-renoval	96.643	10,0
Bosque achaparrado	87.238	9,0
Subtotal	937.311	97,0
Bosque mixto *	28.952	3,
TOTAL	966.263	100,0

*Corresponde a mezcla de bosque nativo (adulto o renoval) con especies plantadas o especies exóticas asilvestradas. Fuente: INFOR, 2009.

Tabla 1: Bosque natural por tipo de bosque

La superficie regional de bosque natural, con un total ajustado a 937.312 ha desagregadas por tipo forestal, está conformada principalmente por el tipo forestal roble-raulí-coigüe, que alcanza al 49% del total, seguido por araucaria y, con superficies bastantes menores, lenga y coigüe-raulí-tepa, como se detalla a continuación.

Región de la Araucanía: bosque natural por tipo forestal (hectáreas y porcentaje del total)		
Tipo forestal	Superficie (ha)	% del total regional
Araucaria	204.199	21,8
Cipres de la cordillera	6.528	0,7
Lenga	113.555	12,1
Roble-Raulí-Coigüe	459.110	49,0
Coigüe -Raulí-Tepa	100.512	10,7
Esclerófilo	585	0,1
Siempreverde	52.823	5,6
TOTAL	937.312	100,0

Fuente: INFOR, 2009.

Tabla 2: Bosque natural por tipo forestal

Para algunos tipos forestales, la superficie localizada en la Región de la Araucanía representa una proporción muy alta del total nacional: como es el caso de la araucaria, en donde en la región se concentra el 80%. En el tipo forestal roble-raulí-coigüe, en esta región se concentra el 31,2%, en coigüe-raulí-tepa, casi el 18%; mientras que en ciprés de la cordillera, se encuentra el 13,5% del total nacional.

En este contexto, la presente investigación se centra en estudiar aquellos grupos que conforman el renoval del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe [*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst – *Nothofagus alpina* (Poep. & Endl.) Oerst. – *Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst], el cual se encuentra representado por cualquiera de las tres especies o una combinación de ellas, constituyendo más del 50% de los individuos con diámetro a 1,30 m del suelo (DAP) mayor a 10 cm por hectárea (Donoso, 1981). Estos se ubican aproximadamente entre los 34° y 41° latitud S, ocupando amplias áreas en la cordillera de los Andes y de la Costa (Donoso y Lara, 1999). Aguilar *et al.* (1997) mencionan que en la provincia de Valdivia la presencia del tipo forestal como mezcla de las tres especies es prácticamente inexistente, encontrándose por el contrario mayoritariamente como bosques puros.

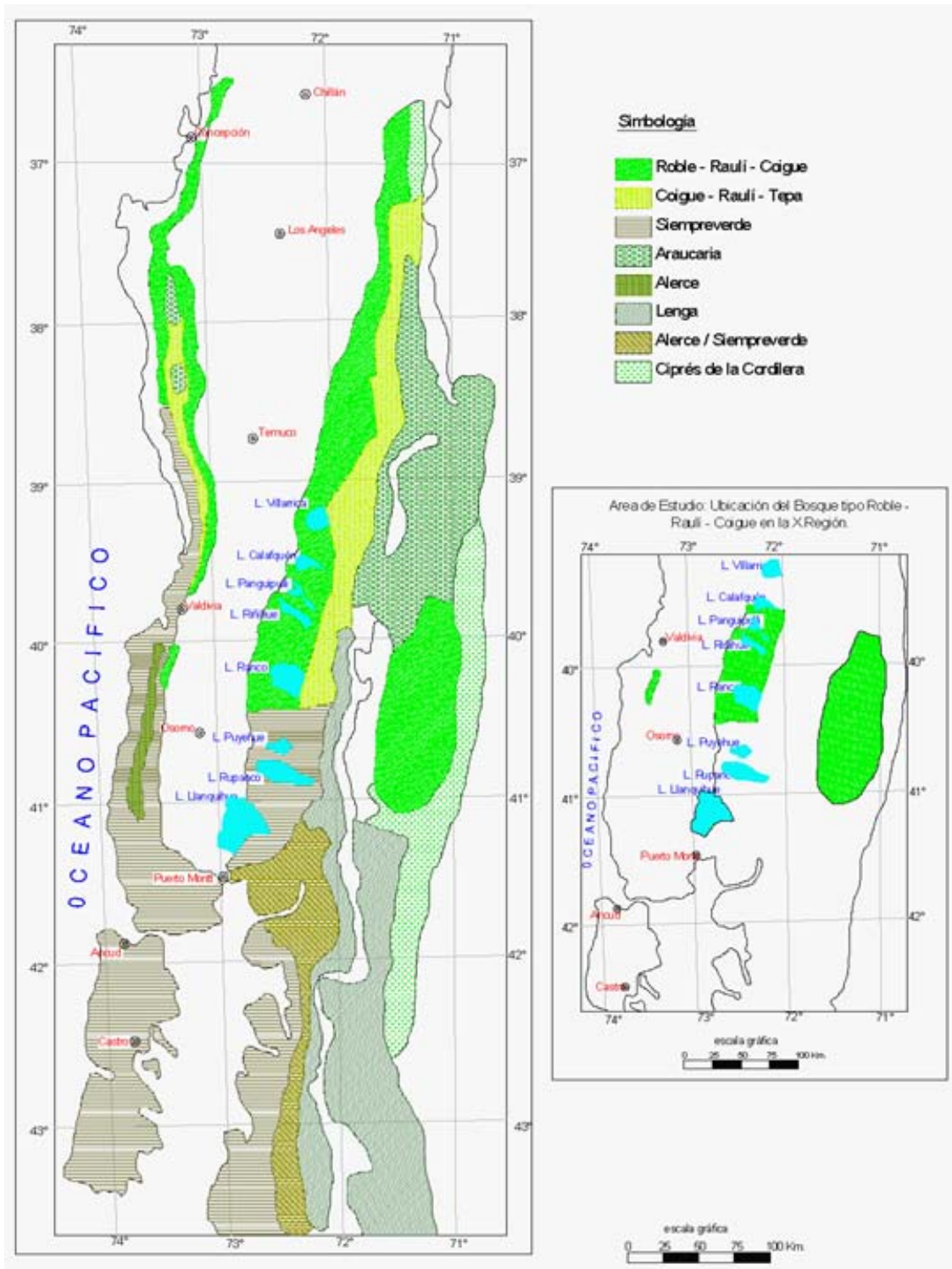


Figura 1: Distribución geográfica Nativo Chileno. (Por tipo forestal).

Fuente: Modificado de "Bosques templados de Chile y Argentina", Variación, Estructura y Dinámica - ecología forestal, Ed. Universitaria, 3ra ed., 1995.

Según Donoso (1981) se trata de un tipo forestal rico en otras especies acompañantes y de alto interés económico. Las especies principales que conforman este tipo forestal, son las que poseen mayor potencialidad de uso dado su alto valor comercial y la magnitud del área que cubren. Una parte importante se encuentra en la X Región (Aguilar *et al.*, 1997). El tipo forestal abarca 1,37 millones de ha (10,2% del total de bosque nativo en el país), de los cuales 86,1% son de renovales o bosques de segundo crecimiento (CONAF *et al.*, 1997). La distribución de este tipo forestal va desde el Río Ñuble y Río Itata (36°10'S) hasta los 40°30'S en la Cordillera de la Costa y de los Andes. Sin embargo, su presencia es baja en algunas áreas de la Cordillera de la Costa, apareciendo en la Cordillera de Nahuelbuta y esporádicamente hacia el sur. Según Grosse y Quiroz (1998), las fronteras reales de este tipo forestal serían desde la VIII hasta la X Región. El patrón de distribución altitudinal, según Donoso (1993), es que a medida que se asciende por la Cordillera de los Andes el roble (*N. obliqua*) empieza a perder importancia, mientras la adquiere el raulí (*N. alpina*). Lo mismo ocurre a mayor altitud con el coigüe (*N. dombeyi*).

1.2.1. DINÁMICA DEL BOSQUE TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

En las especies *Nothofagus*, las alteraciones naturales juegan un importante papel en su regeneración (Veblen y Donoso, 1987). Un bosque dominado por *Nothofagus* generalmente representa etapas sucesionales tempranas o intermedias, las cuales derivan de la destrucción de los bosques originales por fenómenos catastróficos. Estos fenómenos tales como deslizamientos de tierra o erupciones volcánicas, impiden el reemplazo de los *Nothofagus* por especies tolerantes. Este patrón no sigue el esquema clásico propuesto por Veblen y Ashton (1978) de sucesión, en donde las comunidades en su fase terminal están representadas por una fase clímax de especies tolerantes. Veblen *et al* (1979) plantea que en bosques de baja altitud sin alteración aparente, originados principalmente por incendios ocurridos antes de la colonización europea, los robles están representados por grandes y viejos árboles, asociados con poblaciones multietáneas de especies como olivillo, laurel y lingue (incluir nombres científicos), que regeneran especialmente bajo claros que se crean por la caída de árboles. Donoso (1983) plantea que analizando la distribución de frecuencia de las clases de tamaño, el roble adquiere una curva muy próxima a la normal a los 30-40 años de edad. Mientras que a esa edad, *N. alpina* todavía tiene una curva muy sesgada a la derecha (positiva),

siguiendo esa tendencia entre 40-50 años. Esto indica que los individuos jóvenes de raulí pueden mantenerse más tiempo bajo el dosel de los de mayor tamaño que los de roble, que mueren más rápidamente a través del proceso de auto-clara. Sin embargo, pueden haber variaciones dependiendo de si el origen es por tocón o semilla, y a la presencia o ausencia de *Chusquea sp.* en el piso. Para el caso de coigüe el desarrollo de sus plántulas es inhibido por coligüe (*Chusquea culeou*) y por retoños de tepa (*Laurelia philippiana*). Pickett y White (1985) destacan la importancia del papel de las alteraciones en la dinámica de este tipo de bosques y hacen plantearse el equilibrio o no equilibrio dependiendo de la alteración que explican, en ocasiones, el mantenimiento de las especies intolerantes en la comunidad como son las del género *Nothofagus*, aunque esto no signifique un reemplazo. Según Christensen y Peet (1984) también es importante en la dinámica la localización de los fragmentos (aspectos espaciales), la posibilidad de acceso de las especies a estos fragmentos, así como la posición relativa y tamaño de los fragmentos. En el caso de algunos bosques de Chile de *Nothofagus*, Pickett y White (1985) plantean que los factores alogénicos son más importantes que los autogénicos a la hora de determinar la estructura y la dinámica del bosque.

1.2.2. REGENERACIÓN DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

Según Donoso (1983) para el caso del *N. obliqua* y el *N. alpina*, después de llevar a cabo una corta a hecho (tala rasa en Chile) o por efecto del fuego, el establecimiento del regenerado ocurre en un periodo de 10 años, tanto a partir de plántulas de semilla como reproducción vegetativa desde los tocones. Sin embargo existen diferencias en cuanto a la tolerancia entre las especies. El raulí es algo más tolerante que roble. También Donoso (1983) plantea que roble es una especie relativamente intolerante a la sombra. Se encuentra en abundancia fuera de los límites del bosque o en áreas alteradas por ser capaz de invadir áreas abiertas. Otras especies como lingue (*Persea lingue*) y laurel (*Laurelia sempervirens*) regeneran también en claros producidos por la caída de algún árbol. De las anteriores especies, el roble es la menos tolerante a la sombra, por lo que tenderá a desaparecer, siguiendo un patrón de sucesión clásica, a menos que se produzca un claro en el bosque que permita la regeneración.

(2) Especies Tolerantes: Se refiere al comportamiento de una especie en cuanto a su establecimiento y desarrollo frente a otras especies en un rodal determinado, y ese comportamiento varía con la edad de las especies y con la latitud (Supr y Barnes, 1980).

1.2.3. CRECIMIENTO DE BOSQUES DE RAULÍ Y COIGÜE

Este tipo de bosques se presenta en la Región de la Araucanía, en estructuras de renoval (Bosque de segundo crecimiento), su principal especie el Raulí en mediciones realizadas en el Fundo El Manzano, provincia de Cautín a 500 msnm, presenta un incremento anual de 0,64 m en altura, 0,61 cm en diámetro y 10,3 m³/ha en volumen (Donoso *et al*, 1993). Para la especie Coigüe, estos autores definen distintos crecimientos anuales para estructura de renoval, estos crecimientos se desarrollan en distintas zonas geográficas dentro de la IX Región, el primero en el río Corcoludo, en la Provincia de Malleco, Cordillera de Los Andes a 1.050 msnm, el segundo en Villarrica a 660 msnm. Sus resultados son de 0.44 y 0.58 m de altura, 0.58 y 0.64 cm de diámetro y 25 y 16 m³/ha en volumen respectivamente (Donoso *et al*, 1993).

1.2.4. CLIMA ASOCIADO

Donoso (1993) plantean que la tendencia del clima en esta área, está caracterizada por un aumento gradual de la precipitación de norte a sur, manteniéndose una influencia mediterránea hacia el norte, especialmente en el Valle Central. El rango de éstas va desde 1.500 a 3.000 mm anuales. El rango de temperatura medidas extremas, en el mes más frío es de 0 a 10°C y en el mes más cálido de 16 a 20°C.

1.2.5. SUELOS

Según Donoso (1981) los suelos sobre los que se distribuyen estos renovales, generalmente son trumaos o formado sobre escoria volcánica. Son profundos con buen drenaje, el pH es ácido a moderadamente ácido. Se pueden presentar en deslizamientos y suelos ñadis de mal drenaje.

1.2.6. FAUNA ASOCIADA

Los mamíferos relacionados a este tipo de bosques, son *Duscycion culpaeus culpaeus* (culpeo, zorro rojo), *Grison cuja* (quique). Existen también algunos mamíferos introducidos como es el caso del jabalí. En algunos sectores es posible encontrar *Felis guigna* (güiña) y *Felis concolor* (puma).

Entre las aves más importantes presentes en renovales de Roble-Raulí-Coihue esta el carpintero negro (*campephilus megallanicus*) y los Rhynoríptidos.

1.3. SUSTENTABILIDAD DE LOS BOSQUES AUTOCTONOS

Según Dixon y Fallon (1990), sustentar dentro del contexto de los recursos y del medio ambiente, significaría, mantener o prolongar el uso productivo de ellos, cautelando su integridad.

El bosque nativo cumple diversos y numerosos beneficios tangibles e intangibles. Un buen manejo de este recurso beneficiaría no solo la producción de madera, sino que también la posibilidad de valorar su utilidad como prestador de servicios ambientales. Estos servicios según Lara *et al.* (2003), se pueden agrupar en:

- a) valores de uso directo: Productos maderables y no maderables del ecosistema forestal, productos forestales no madereros (PFNM) como hongos, enredaderas, arbustos entre otros; valores de recreación y turismo; valor cultural.
- b) valores de uso indirecto: Protección de cuencas, producción de agua; almacenamiento de carbono, conservación de la biodiversidad.
- c) valor de opción: Se refiere a los usos potenciales directos e indirectos de los bosques nativos en el futuro, investigación científica, uso educacional, ecoturismo, maderas finas de alta calidad, propiedades medicinales y otros usos comerciales.
- d) valores de no-uso: Son beneficios intangibles, solo derivados de la existencia de los bosques, incluyen el valor de existencia y valor de legado.

En la tabla 1, se muestra cómo se pueden ordenar los diversos elementos en los cuales el bosque ayuda a la estabilidad de diversos ecosistemas. Se aprecia que solo una de estas funciones es el aprovechamiento maderero y que es importante empezar a valorar los múltiples beneficios derivados de los bosques.

<i>Beneficio del bosque</i>	<i>Descripción</i>
<i>Calidad del aire</i>	Producción de oxígeno, filtros de contaminación.
<i>Calidad agua y suelo</i>	Regulación hidrológica, control de la erosión, hábitats acuáticos, agua para consumo humano.
<i>Regulación del clima</i>	Captura de dióxido de carbono.
<i>Diversidad biológica</i>	Hábitats de vertebrados, invertebrados, hongos, microbios, epifitas dependen de la estructura.
<i>Escénicos y recreativos</i>	Escenarios de descanso, recreación y residencia.
<i>Cultural y espiritual</i>	Identidad cultural de los habitantes locales, fuente de múltiples recursos, usos tradicionales.
<i>Económico</i>	Venta de productos con valor agregado.
<i>Inter-generacional</i>	Opciones de uso de generaciones futuras.

Tabla 3. Principales productos y servicios de los ecosistemas forestales (Lara *et al.*, 2003).

CAPÍTULO 2: INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA LA GESTIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES EN CHILE

2.1. Importancia de los ingresos fiscales como financiamiento de la gestión ambiental

La experiencia de los países industrializados muestra que en la aplicación de mecanismos económicos del tipo cargos, tarifas e impuestos, el objetivo recaudación ha prevalecido sobre el objetivo de creación de incentivos para mejorar la calidad ambiental (CEPAL/PNUMA, 1997, Panayotou, 1994,1998). De igual forma, en los países en vías de desarrollo históricamente el principal de los instrumentos económicos ha sido la recaudación de fondos. Otros objetivos importantes como la reducción de impactos y mejoras del desempeño ambiental, o asegurar y aumentar la eficiencia de la regulación, no ha contado con el mismo énfasis (Huber. *et al.*, 1998). Los resultados de la aplicación de estos instrumentos en países industrializados han sido exitosos, permitiendo financiar proyectos y programas ambientales. Aunque en Chile y se han conseguido significativos avances en materia de acceso al crédito de las empresas de tamaño menor

La gran problemática de deficiencias presupuestarias que presentan las instituciones reguladoras en materia ambiental en Latinoamérica, traen como resultado que la recaudación de fondos sea un factor importante en el diseño de nuevos instrumentos de gestión ambiental. La factibilidad de lograr trabajar en el diseño y aplicación de nuevos mecanismos económicos depende indiscutiblemente de lograr una voluntad y credibilidad política, junto con una capacidad de solvencia técnica para aplicar con éxito dichos mecanismos económicos. Esta aplicación exitosa es la que permite en definitiva lograr introducir cambios en el desempeño ambiental que se traduzcan efectivamente en mejoras significativas de la calidad ambiental.

2.2. La gestión ambiental en Chile y sus instrumentos económicos

Chile, como la mayoría de los países ha adquirido un compromiso con sus ciudadanos, el cual se expresa en toda su magnitud en el Art. 19° N° 8 “*Constitución política del estado de Chile 1980*”, que dice:

“El derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación. Es deber del Estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza”. La ley podrá establecer restricciones específicas al ejercicio de determinados derechos o libertades para proteger el medio ambiente.

Es este el artículo de la constitución política que asegura a los chilenos que el estado se preocupara por el cuidado del medio ambiente. Surge acá una interrogante sobre la situación de Chile al respecto:

¿Poseerá Chile los mecanismos económicos adecuados y necesarios para enfrentar una demanda de servicios ambientales requerida por los países contaminantes para cumplir con sus compromisos de mitigación según protocolo de Kyoto, Cancún o cualquier otro acuerdo posterior?

Según Román (2005), no existen facilidades significativas que permitan que estas unidades económicas estén en condiciones de acceder a financiamiento adecuado a efectos de mejorar su gestión ambiental. Se hace necesario que las instituciones reguladoras sean capaces de diseñar instrumentos de gestión ambiental efectivos y eficientes en lo económico con el fin de lograr el logro de las metas ambientales que se han trazado. En la mayoría de los países son las restricciones fiscales las que limitan e imposibilitan a las autoridades ambientales el logro de estas metas, no pudiendo fortalecer su accionar mediante mayores asignaciones presupuestarias, por lo que deben explorar opciones de autofinanciamiento para avanzar en la gestión ambiental.

En estos últimos años se han comenzado a incorporar instrumentos económicos a la gestión ambiental para complementar los esquemas tradicionales de regulación directa. Principalmente por la oportunidad que ofrecen estos instrumentos para introducir mayor flexibilidad mediante incentivos basados en precios/costo, y porque estos instrumentos ofrecen también la posibilidad de obtener recaudación para financiar la gestión e inversiones ambientales a través de fondos específicamente destinados.

2.3. Instrumentos legales diseñados para la gestión ambiental en Chile

Ley de bases del Medioambiente:

Durante la década de los ochenta varias fueron las empresas e instituciones que intentaron introducir y contribuir al desarrollo sustentable, sin embargo, el tema ambiental cobro fuerza después del gobierno militar. En 1992 se estableció la Comisión Nacional del Medio Ambiente, (CONAMA). Su principal labor fue coordinar la política ambiental del gobierno y proponer los instrumentos de política necesarios para implementarla.

En el año 1994 fue promulgada la ley de Bases del Medio Ambiente, con sus seis capítulos y 92 artículos, los cuales contienen especificaciones sobre los instrumentos de política, así como indicaciones administrativas y alusiones a reglamentos pendientes para completar el marco de política ambiental.

Son tres instrumentos de gestión principales que se indican en la Ley de Bases del Medio Ambiente:

- Sistemas de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Normas de Calidad Ambiental y de Emisión.
- Planes de Prevención y de Descontaminación, en caso de superación de las normas.

Los instrumentos económicos se mencionan en la ley de Bases solamente lateralmente en dos ocasiones: como sub-ítem en los artículos sobre planes de descontaminación (párrafos b y c del artículo 47 de la Ley de Bases del Medio Ambiente):

“Los planes de prevención o descontaminación podrán utilizar, según corresponda, los siguientes instrumentos de regulación o de carácter económico”.

...

b) Permisos de emisión transables

c) Impuestos a la emisiones o tarifas a los usuarios”, y en forma de incentivos tributarios en el contexto del Art. 35 que se refiere al fomento de áreas silvestres protegidas privadas.

En la actualidad en Chile, se estudian instrumentos económicos en un conjunto de políticas específicas, en materias como recursos naturales, certificación de la calidad ambiental, manejo de sustancias peligrosas, residuos sólidos, etc. Con énfasis en los

instrumentos de incentivo en la gestión y uso sustentable de los componentes de materia y energía, en particular.

La lentitud en el diseño e introducción de estos instrumentos económicos en Chile, nos hace plantear y considerar algunas interrogantes:

Primero, el marco legal institucional existente es el adecuado para la introducción de instrumentos económicos.

Segundo, considerar la urgencia de lograr la aplicabilidad de estos instrumentos económicos ante la eminente participación de Chile en los mercados ambientales.

Tercero, existirá la voluntad política para lograr la aplicación y efectividad de instrumentos económicos.

Cuarto, se deben analizar para cada caso los aspectos técnicos y variables del mercado que se requiere regular para decidir cuál es finalmente la mejor opción.

Quinto, se debe considerar una resistencia cultural natural a la aplicación de instrumentos económicos, esto debido a su carácter mercantil, como también por el hecho que constituyen un cambio hacia algo desconocido.

2.4. Pseudo instrumentos económicos de gestión ambiental

Los pseudo instrumentos económicos son aquellos instrumentos económicos que según definición funcionan como tales, pero que no han sido diseñados específicamente con un objetivo ambiental o de sustentabilidad.

Su origen se debe principalmente a razones económicas, ya sea para apoyar al sector privado o aportar a los ingresos fiscales. Por ejemplo el *subsidio forestal* fue diseñado con el propósito del fomento a la producción forestal, el *impuesto a la gasolina* constituye uno de los ingresos fiscales mas relevantes – a ser destinado a los distintos sectores gubernamentales, como también los ingresos percibidos por concepto de *concesiones mineras* son destinados al Fondo Regional de Desarrollo (70%) y a los municipios locales (30%). Los efectos ambientales positivos de cada uno de los instrumentos presentados han sido, en general, limitados, aunque interesantes. El subsidio forestal ha contribuido a la protección del recurso suelo³; y el Fondo de Desarrollo Regional ha aportado importantes recursos para la gestión ambiental regional. Sólo el actual impuesto a la gasolina ha tenido una efectividad nula en relación

a la política ambiental, ya que, debido a su forma actual, ni siquiera ha contribuido a acelerar el cambio de bencina con plomo a bencina “verde”, por ejemplo.

Entre los mecanismos que se han llamado pseudo instrumentos económicos en Chile, encontramos:

- *Derechos transables de uso del agua.*
- *Subsidios de forestación.*
- *Cobro de entradas por el ingreso a parques nacionales.*
- *Sistema de peaje.*
- *Impuesto a la gasolina.*
- *Sistema de depósito / reembolso para envases de bebidas.*
- *Compensaciones por la explotación de recursos naturales.*

2.4.1. Incentivos en el marco de la Ley de Bosque Nativo. (Aprobada en el año 2008)

En el año 1997 el Ministerio de Agricultura elaboró una propuesta de Ley de Bosque Nativo, la cual incluyó un sistema de impuestos e incentivos. Reconociendo que el tema del bosque nativo es un tema altamente conflictivo en la discusión ambiental del país, uno de los puntos mas controvertidos de la propuesta fue considerado justamente lo indicado sobre incentivos e impuestos. Así es que la posterior discusión en la Cámara de Diputados llevó a una modificación de la propuesta original. En la versión actual se ha eliminado el instrumento del impuesto a la eliminación o sustitución de bosque nativo y se reemplazó por el mecanismo administrativo de planes de manejo, como ha sido tradicionalmente. Sin embargo, se incluye todavía el instrumento de incentivo al fomento del bosque nativo, en forma de una “bonificación da hasta 10 UTM por hectárea a aquellos propietarios que acrediten la ejecución de actividades bonificables contenidas en el plan de manejo” (Acquatella, 2001).

⁽³⁾ Aunque al mismo tiempo ha sido criticado por su efecto negativo en cuanto al fomento de monocultivos.

2.4.2. Incentivos tributarios para la creación de áreas Silvestres Protegidas Privadas (aún como propuesta)

La Ley de Bases del Medio Ambiente consignó un espacio a los incentivos para fomentar la creación de áreas silvestres protegidas privadas. La corporación Nacional Forestal (CONAF) elaboró en 1998 proyecto de Ley para la Creación de Áreas Silvestres Protegidas Privadas. La aplicabilidad de este proyecto depende de la solución de un problema de orden político – institucional. Esto último por dos razones: 1.- Simultáneamente a este proyecto entraron dos otros proyectos de ley que se consideraron prioritarios: uno se refiere a un cambio institucional que afecta al Ministerio de Agricultura, la CONAF, y el Instituto Forestal (INFOR), apuntando hacia la creación de una *Subsecretaría de Desarrollo Forestal y un Servicio Nacional Forestal*, y el otro se refiere a la modificación de la ley que regula el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE). 2.- Distintos aspectos incluidos en los dos proyectos de ley mencionados afectan directa o indirectamente al Sistema de Áreas Silvestres Protegidas Privadas – por ejemplo, el rol de CONAF como organismo regulador de este Sistema es cuestionable si CONAF, de acuerdo al proyecto de ley, queda como una institución de derecho privado (Acquatella, 2001).

Este proyecto presentado por la Corporación Nacional Forestal fue aprobado y entra en vigencia en febrero de 2011.

2.4.3. Incentivos para la Protección de la Capa de Ozono (aún como propuesta)

Existen en Chile desde hace ya un tiempo, incentivos en forma de subsidios o créditos blandos como iniciativa de apoyo a la industria para la introducción de tecnologías limpias. Como ejemplo tenemos el subsidio que se ha otorgado a la reconversión de tecnologías para las actividades productivas que involucran sustancias que debilitan la capa de ozono. Esta iniciativa era parte de un programa nacional para la implementación del Protocolo de Montreal y, como la ecoetiqueta pro ozono, era financiado a través del Fondo Multilateral. El monto del subsidio dependía del proyecto específico, pero nunca cubría los costos totales de inversión. El programa se desarrolló exitosamente en el sector de refrigeración colocando al país en una situación de cumplimiento en relación a las exigencias del Protocolo. Una segunda fase, en etapa de implementación, establece

una prohibición explícita de importación de insumos en le mismo sector (Acquatella, 2001).

CAPÍTULO 3: CAMBIO CLIMATICO GLOBAL

3.1 Marco mundial del Cambio Climático.

Desde hace varias décadas el Cambio Climático es un tema que ha formado parte de las investigaciones del medio científico. Importantes son sus avances en su comprensión y las crecientes evidencias de sus potenciales implicaciones ambientales, sociales y económicas, a escala nacional, regional y global. Por esta razón es incorporado hoy en día en todas las agendas de los gobiernos del mundo en estos últimos años.

La manifestación mas clara del Cambio Climático es el calentamiento global, que se produce por el incremento en la concentración de diversos gases en la atmósfera, conocidos como de efecto invernadero, entre los que destacan: el bióxido de carbono (CO₂), el metano, el óxido nitroso, el ozono, el bióxido de azufre y los clorofluorocarbonos. (Barros, 2005).

El primero de estos, es el que predomina y sus concentraciones atmosféricas se han elevado en un 30%, desde 1860 (de 280 a 360 partes por millón). La intensificación de las acciones antrópicas han aumentado el uso de combustibles fósiles, sumado además a la destrucción de muchos sistemas ecológicos que aportan un equilibrio dinámico de gases en la atmósfera, ha hecho que la acumulación antes mencionada de bióxido de carbono alcance niveles que no se registraban en la Troposfera desde hace 200.000 años (IPCC, 1990).

Gran parte de las emisiones de CO₂ a la atmósfera se deben al cambio de uso de suelo. Es por esta razón que en las investigaciones realizadas para dar cumplimiento a los compromisos adquiridos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, se han buscado estrategias para contribuir a que diversos sectores nacionales e internacionales estén preparados para la mitigación y adaptación de fenómenos climáticos. Una de las opciones de mitigación más importantes para Chile y el mundo es la denominada “captura de carbono en el sector forestal”, ya que el manejo sustentable de los bosques acompañados de eficaces estrategias de forestación y reforestación, capturan CO₂ atmosférico a través de la fotosíntesis durante el crecimiento de la biomasa vegetal. Lo anterior implica una disminución en las emisiones de CO₂, junto con contribuir a aminorar los procesos de deforestación.

3.2 Conceptualización del Cambio Climático

Se define al cambio climático como el posible aumento en la temperatura superficial del planeta que se produciría como consecuencia de un aumento importante y rápido de las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera (IPCC, 1995). Como causa principal de este aumento, está la emisión de estos gases provocados por actividades humanas (antrópicas) que alteran la composición original de la atmósfera. En la tabla 3 se presenta un resumen por sector de las principales actividades que destacan por su aporte de gases de efecto invernadero (CO₂, N₂O, CFC, CH₄). Los modelos climáticos estiman que la temperatura media mundial aumentará entre 1,4 y 5,8° C para el año 2100. La línea de base de estos escenarios utiliza como año de referencia 1990 y suponen que no se adoptarán políticas para reducir las causas del cambio climático. También toman en cuenta respuestas climáticas y efectos de enfriamiento. A pesar de la utilidad de este tipo de modelaje, el proceso del cambio climático es muy dinámico y la información de línea de base no siempre es confiable. Los escenarios de análisis están sujetos a una enorme incertidumbre sobre el futuro y respecto del cambio de emisiones pasadas. El clima tampoco responde inmediatamente a las emisiones y por consiguiente ha de seguir cambiando durante cientos de años, incluso si las emisiones de GEI se reducen y los niveles de contaminación atmosférica dejan de aumentar (Aliaga, J; Villegas, H. 2009).

Fenómenos como el aumento de la temperatura media del planeta y del nivel del mar, se manifestaran a más largo plazo en toda su dimensión. La dificultad de separar la variabilidad climática natural de la provocada, hace muy difícil identificar los efectos del aumento de los GEI. Sin embargo, mayores observaciones han permitido que en la actualidad se pueda presentar un panorama más claro del calentamiento mundial. Sin duda el cambio climático provoca y provocará efectos importantes en el medio ambiente mundial. La rapidez con que cambia el clima hace mayor el riesgo de daños y en consecuencia mayor será la vulnerabilidad. Está previsto que el nivel medio del mar aumentara 9 y 88 centímetros para el año 2100, esto causara inundaciones en las zonas de tierras bajas, entre otros daños (modificado de Aliaga, J; Villegas, H. 2009).

Otros efectos podrían comprender un aumento de las precipitaciones mundiales y cambios en la gravedad o frecuencia de los episodios o eventos climáticos extremos. Las zonas climáticas podrían desplazarse hacia los polos y a partir de ahí verticalmente,

perturbando bosques, desiertos, praderas y otros ecosistemas y a las especies que habitan en ellos, algunas de las cuales podrían llegar a extinguirse (Aliaga, J; Villegas, H. 2009).

Tabla 4. Actividades por sector industrial que contribuyen a la emisión de gases de invernadero (según Ahuja, 1990)

Actividades	Gas emitido
Sector energético	
Producción de carbón	CH4
Combustión de carbón	CO, CO2, CH4, N2O
Combustión de petróleo	CO, CO2, CH4, N2O
Combustión de gas	CO, CO2, CH4, N2O
Ventilación y fuga de gas	CH4
Sector agrícola y forestal	
Ganadería intensiva	CH4
Cultivos de arroz	CH4
Uso de fertilizantes	N2O
Combustión de biomasa	CO, CO2, N2O
Deforestación y cambio de uso de suelo	CO, N2O
Sector industrial	
Producción de cemento, metalurgia	CO2
Uso de CFC	CFC
Relleno sanitario y otros procesos industriales	CH4

3.3. Respuesta mundial al cambio climático

Luego de la primera conferencia mundial sobre el clima, realizada en año 1979 en Ginebra, se ha acrecentado la preocupación sobre la relación entre clima y ser humano. Esta primera conferencia, es la que aumentará en la década de 1980 la preocupación pública por las cuestiones ambientales y hará que los gobiernos toman en cada vez más conciencia de los problemas del medio ambiente. Son estas preocupaciones las impulsan la creación de un grupo de expertos sobre el cambio climático.

Finalmente en el año 1988, la Asamblea General de la ONU aprobó una resolución en la que se pedía “la protección del clima para las generaciones actuales y futuras de la humanidad” (Resolución 53/53, propuesta por el Gobierno Malta) y se creó bajo los órganos rectores de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente un nuevo organismo, el IPCC, con el fin de orientar y evaluar la información científica sobre este tema.

En 1990 este grupo de expertos celebra la segunda Conferencia Mundial sobre el Clima (Ginebra), aquí se presenta el primer informe de evaluación del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático), en el que se confirmaba que la amenaza del cambio climático de origen antropogénico era real y sus consecuencias desastrosas. Se concluye en esta segunda conferencia mundial sobre el clima, la existencia de la necesidad de crear un nuevo foro internacional, con el fin de poder tomar acuerdos políticos internacionales sobre el cambio climático.

Debido al consenso de la existencia de esta necesidad es que la Asamblea General de la ONU aprueba poner oficialmente en marcha negociaciones acerca de un convención sobre el cambio climático (Resolución 45/212). Es así como al cabo de unos meses se realizó la adopción de la UNFCCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático), en 1992, coincidiendo con la cumbre de la tierra de Río de Janeiro (Brasil). Esta convención establece un marco para la acción, cuyo objetivo es la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. La UNFCCC entró en vigor el 21 de marzo de 1994 y actualmente incluye a 194 estados que se reúnen anualmente en convecciones llamadas Conferencias de las Partes (COP).

Este es el resumen de los temas que se han ido tratando en las diferentes COP_s desde la primera en 1995.

COP1 Berlín 1995

La primera COP estuvo marcada por la incertidumbre respecto a las medidas que podían tomar los países para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El resultado fue el “Mandato de Berlín”, que estableció una fase de análisis y evaluación de dos años. Esta fase resultó en un catálogo de instrumentos jurídicos que permitan prestar ayuda de manera sistemática al diseño de un protocolo. Los países miembros podían elegir los instrumentos adecuados y componer un conjunto de iniciativas que se ajustaran a sus necesidades.

COP2 Ginebra 1996

Le segunda COP aprobó los resultados del segundo informe de evaluación del IPCC, que se publicó en 1995. En esta conferencia también se estableció que los países miembros no seguirían soluciones uniformes. Cada país sería libre de emplear las soluciones más relevantes para su situación concreta. En la conferencia de Ginebra, las partes también expresaron el deseo de establecer objetivos vinculantes a medio plazo.

COP3 Kyoto 1997

En esta conferencia, tras negociaciones intensas, se adoptó el Protocolo de Kyoto. Por primera vez, el protocolo introdujo objetivos vinculantes para las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) en 37 países industrializados de 2008 a 2012. Varios países miembros de la UNFCCC no han ratificado el Protocolo de Kyoto y no reconocen sus requisitos sobre emisiones.

COP4 Buenos Aires 1998

En esta conferencia se hizo evidente que había varias cuestiones pendientes del Protocolo de Kyoto. Por lo tanto, se programó un periodo de dos años para clarificar y desarrollar herramientas de aplicación del Protocolo de Kyoto.

COP5 Bonn 1999

Esta conferencia estuvo dominada por el debate técnico sobre los mecanismos de flexibilidad del protocolo de Kyoto.

COP6 La Haya 2000

Esta conferencia se vio marcada inmediatamente por debates políticos muy vehementes sobre una proposición de EE.UU. para que se permitiera que áreas agrícolas y forestales se convirtieran en sumideros de dióxido de carbono. Si la proposición se hubiera aprobado, al mismo tiempo hubiera satisfecho en gran parte de la obligación de EE.UU. de reducción de emisiones de GEI. También se hizo evidente la incertidumbre sobre las sanciones que se adoptarían para los que no cumplieran sus obligaciones de reducción de emisiones. La reunión se terminó cuando los países de la Unión Europea (UE) rechazaron una propuesta de compromiso y las negociaciones fracasaron. Se acordó que las negociaciones se reanudarían en una conferencia extraordinaria en junio de 2001.

GEI: Gases efecto invernadero; **Descripción del proceso.** De la energía recibida por el planeta, alrededor de un 30% es reflejada hacia el espacio, el 70% restante penetra en la atmósfera y es absorbida por la superficie terrestre. La superficie se tempera, produciendo la irradiación térmica. Los GEI cumplen la función de capturar cierta parte de la energía emitida del planeta y por ende son responsables de la regulación de la temperatura global (Beaumont, 1999; Pedroni, 1999).

COP6 bis Bonn 2001

Cuando las partes se volvieron a reunir, a seis meses del fracaso de las negociaciones en La Haya, no se esperaban muy buenos resultados. Entretanto, EE.UU., bajo el mandato del presidente Bush, había rechazado definitivamente el Protocolo de Kyoto y solo participó en las negociaciones como observador. A pesar del bajo nivel de las expectativas, se llegó a un acuerdo respecto a incluir bosques y otros sumideros de dióxido de carbono en los presupuestos de emisiones de GEI de los países, los principios de las sanciones para los países que no cumplieran los objetivos y que los mecanismos de flexibilidad se pudieran transferir entre países a cambio de compensaciones económicas.

COP7 Marrakech 2001

Más tarde en 2001, las partes se volvieron a reunir durante la conferencia anual regular. En ella, prácticamente se completaron las negociaciones sobre el Protocolo de Kyoto, se cerró que sólo los procesos de forestación y reforestación serían las únicas actividades del uso de la tierra incluidas para el primer período de compromiso (2008 - 2012). Los resultados se recopilaron en documentos denominados los acuerdos de Marrakech.

COP8 Delhi 2002

En esta conferencia, los países de la UE (bajo presidencia Danesa) intentaron sin éxito que se aprobara una declaración exigiendo más acciones de las partes de la UNFCC.

COP9 Milán 2003

Esta conferencia se centró en clarificar los últimos detalles técnicos del Protocolo de Kyoto.

COP10 Buenos Aires 2004

En esta reunión, los países empezaron a iniciar debates sobre lo que cedería cuando el Protocolo de Kyoto terminara en 2012.

COP11/CRP1 Montreal 2005

Esta conferencia fue la primera tras la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto. Así pues, la reunión anual entre las partes de la UNFCC (COP) se suplementó con la conferencia anual entre las partes del Protocolo de Kyoto (CRO o CP/RP). Los países

que habían ratificado la UNFCC pero no el Protocolo de Kyoto tenían estado de observador en la segunda conferencia. Ambas conferencias se centraron en lo que debería suceder tras la finalización del Protocolo de Kyoto en 2012.

COP12/CRP2 Nairobi 2006

Se respondió finalmente a las últimas cuestiones técnicas sobre el protocolo de Kyoto. Continuaron los intentos de llegar a un acuerdo para el periodo posterior a Kyoto y se establecieron una serie de hitos para dicho proceso.

COP13/CRP3 Bali 2007

Esta reunión se dio un paso adelante en el proceso de llegar a un acuerdo para sustituir el Protocolo de Kyoto. Primeramente, con el reconocimiento del informe más reciente del IPCC y sus conclusiones de que los signos de calentamiento global eran inequívocos; en segundo lugar formulando un texto común para requerir acciones más rápidas en esta área y finalmente con la adopción del Plan de Acción de Bali. Este plan estableció el marco de las negociaciones que conducirían a un nuevo acuerdo.

COP14/CRP4 Poznan 2008

La reunión de Poznan terminó sin acordar una declaración política para cerrar la Conferencia. El acuerdo más importante fue la creación de un fondo de adaptación con los ingresos de los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto y una declaración de intenciones para 2020 que sea tomada en cuenta en la conferencia de Copenhague (COP-15).

COP15/CRP5 Copenhague 2009

El objetivo de la conferencia, según los organizadores, era "la conclusión de un acuerdo jurídicamente vinculante sobre el clima, válido en todo el mundo, que se aplica a partir de 2012". Este nuevo compromiso de reducción no sólo incluiría a los países desarrollados si que a todas las naciones.

COP16/CRP6 Cancún 2010

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en Cancún finalizó con la adopción de un paquete de decisiones que coloca a todos los gobiernos en una posición más firme en el camino hacia un futuro bajo en emisiones y apoya una mejor acción sobre cambio climático en el mundo en desarrollo.

3.3.1. Referencias respecto al acuerdo más importante. El protocolo de Kyoto

El protocolo de Kyoto es un acuerdo internacional que se adoptó en la COP3 de Kyoto (Japón), el 11 de diciembre de 1997. Siguió varios años de incertidumbre sobre si algunos países ratificarían el tratado, hasta que el 16 de febrero de 2005, tras la ratificación de Rusia, fue finalmente aprobado. Actualmente está ratificado por 188 países. De los 194 países miembros de la UNFCCC, países como Estados Unidos y Australia se han negado a ratificarlo.

El acuerdo compromete a los países catalogados como desarrollados a reducir sus emisiones de GEI en un 5,2% respecto a las emisiones del año 2000 en un periodo de compromiso que va desde 2008-2012, llamado “primer período de compromiso”.

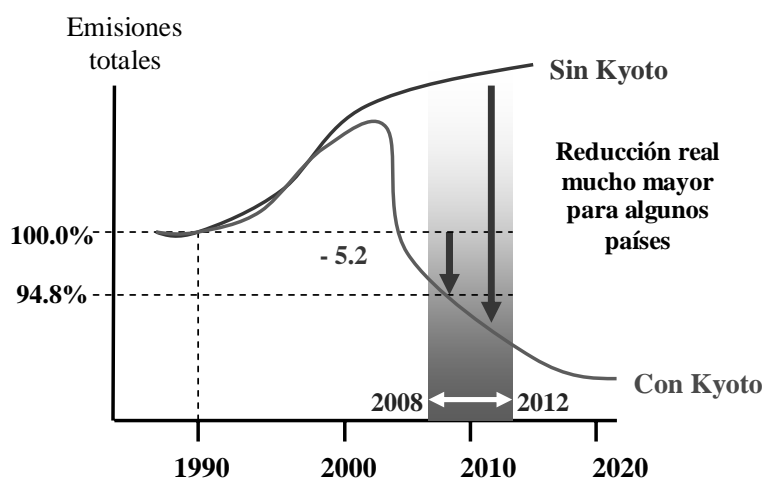


Figura 2: Compromiso de reducción de emisiones del protocolo de Kyoto

Los países desarrollados que deben cumplir con estas metas de reducción de emisiones son un total de 39, denominados Anexo I. Aquellos que no deben cumplir con metas de reducción de emisiones, países en desarrollo, son los catalogados como no – Anexo I. En el Anexo II se indica un subconjunto de 25 países desarrollados que deberán prestar

ayuda económica y tecnológica para enfrentar los impactos del cambio climático a países en desarrollo que formen parte de la Convención.

En el Protocolo se establece una serie de políticas y medidas, como son el fomento de la eficiencia energética, el aumento de usos de energías renovables y tecnologías de secuestro de carbono, o la reducción progresiva de las emisiones en transporte, residuos, distribución y energía.

Según el Protocolo, la absorción de sumideros de GEI que se deban a la mano del hombre relacionada con actividades de uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura, reforestación y deforestación (Artículo 3.3 del Protocolo de Kyoto), así como la gestión forestal, gestión de tierras agrarias, gestión de pastos y revegetación (Artículo 3.4), podrán ser utilizadas a efectos de cumplir con los compromisos. Durante los meses de octubre y noviembre del 2001, en la COP7, celebrada en Marrakech, se llegó al acuerdo de aprobar decisiones legales, jurídicamente vinculantes para el desarrollo del Protocolo de Kioto (Acuerdos de Marrakech). Dentro de los Acuerdos de Marrakech, es la Decisión 11/COP7 la que trata de las actividades de Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura (LULUCF por sus siglas en inglés). En ella se acuerda que sólo los procesos de forestación y reforestación serían las únicas actividades del uso de la tierra incluidas para el primer período de compromiso (2008 – 2010).

El Protocolo también introdujo tres mecanismos de flexibilidad. Estos son los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), Comercio de Emisiones e Ejecución Conjunta. Con estos mecanismos se persiguen un doble objetivo, facilitar a los países del Anexo I el cumplimiento de sus compromisos de reducción de emisiones y apoyar el desarrollo sostenible de los países en desarrollo, a través de la transferencia de tecnologías limpias.

Los ***Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)*** (Art. 12) permiten a las Partes Anexo I aplicar actividades de proyectos de desarrollo sostenible que reduzcan las emisiones en países no – Anexos I. además de ayudar a estas partes a promover el desarrollo sostenible, se contribuye al objetivo último de la Convención, las Reducciones Certificadas de las Emisiones, generadas por estos proyectos pueden ser utilizadas por las Partes Anexo I para cumplir sus propios objetivos de emisión.

La ***Ejecución o Implementación Conjunta*** (Art. 6) permite a los países del Anexo I ejecutar proyectos que reduzcan las emisiones o consigan una mayor absorción utilizando sumideros, en otros países Anexo I. las Unidades de Reducción de Emisiones generadas por estos proyectos pueden ser utilizadas por las Partes inversoras Anexo I

para ayudar a cumplir sus objetivos de emisión, mientras que el país receptor, se descuenta estas unidades de reducción de emisiones. En la práctica, es más probable que los proyectos de Ejecución Conjunta tenga lugar en países con economías en transición, donde es mayor el margen para recortar las emisiones a costo más bajos.

El **Comercio de Emisiones** (Art.17) permite a las Partes anexo I adquirir Unidades de la Cantidad Atribuida de otras Partes Anexo I que pueden reducir más fácilmente emisiones. De esta forma, los países que reduzcan sus emisiones más de lo comprometido, podrán vender los créditos o unidades de emisiones excedentes a otros países. Las partes incluidas en el Anexo I pueden adquirir también, de otras Partes Anexo I, Reducciones Certificadas de las Emisiones de proyectos MDL, Unidades de Reducción de Emisiones de proyectos de Ejecución Conjunta, o dentro del comercio de derechos de la UE, las Unidades de Absorción.

Los límites aprobados de reducción de emisiones a través de los mecanismos de flexibilidad son de 2,5% para MDL y para los de Implementación Conjunta. La Unidades de la Cantidad Atribuida del Comercio de Emisiones, no tiene límites. Los porcentajes de compromiso se miden sobre la cantidad atribuida que es la cantidad de GEI que tiene permitido emitir cada país durante el primer período de compromiso (2008 – 2012). Su cálculo es muy sencillo:

Cantidad atribuida = (emisiones en 1990)* 0,948* 5 (años del periodo de compromiso)

Existe la excepción de que las actividades de forestación y reforestación de los MDL no superarán el 1% de la cantidad atribuida.

La UE formada por los países de los 15 más Bulgaria, República Checa, Estonia, Letonia, Liechtenstein, Lituania, Mónaco, Rumania, Eslovaquia, Eslovenia, Suiza se han unido para conseguir de forma global los objetivos del Protocolo de Kyoto. De esta forma, cada país ha aceptado un diferente grado de compromiso.

España, por el acuerdo firmado el 31 de Mayo de 2002 (Decisión del consejo 2002/358/CE), es el país cuyos habitantes tienen menor derecho de emisiones de la Unión Europea, estando obligado a limitar su aumento de emisiones respecto 1990 en un 15%.

La situación actual del reducción emisiones es menos que esperanzadora para los países de la UE, ya que conforman el grupo de países más alejado del cumplimiento de los actuales acuerdos, un 8% por arriba de los acordado (UNFCC, 2009). Sus aumentos de

emisiones están por encima de los aumentos de países como Estados Unidos que además acordaron no ratificar el Protocolo.

El objetivo primario de las políticas climáticas de UE se concentra en la reducción de los GEI de la industria y sector energético. Las UE apoya junto con Estados Unidos la aprobación de metodologías en materia de secuestro geológico pero no en materia de secuestro biológico (gestión forestal), el cual consideran como una distracción. Según expusieron en la COP7 Marrakech 2001:

“Proyectos LULUCF no pueden físicamente ofrecer reducciones permanentes de emisiones”

3.4. Ecosistemas forestales y el carbono

3.4.1. El bosque: Un sumidero de carbono

Se ha estimado que la superficie forestal de la Tierra es de 4.100 millones hectáreas, donde las áreas naturales protegidas abarcan el 2,3%, esto es menos del 10% de las áreas que se encuentran bajo manejo. Por otra parte aproximadamente el 37% de carbono se encuentra en latitudes bajas (0° a 25° lat.), 14% en las medias (25° a 50° lat.) y 49% en las altas (50° a 75° lat.). Es por esto que Dixon *et al.* (1994) afirman que la proporción de carbono capturado por la vegetación y suelo difiere en cuanto a su ubicación geográfica respecto de su latitud. Dos terceras partes del carbono en ecosistemas forestales se encuentra contenido en el suelo.

A su vez el bosque boreal, que influye en los ciclos de energía, carbono y agua del planeta, forma una franja circumpolar a lo largo del hemisferio norte, desde el norte de Europa y Rusia hasta Canadá y Estados Unidos (concretamente el estado de Alaska). Estos bosques tienen una cobertura de 2.100 millones de hectáreas en el hemisferio norte, y contienen 800 GtC en reservas de carbono contenido en la biomasa, detritus, suelo y turba. En los ecosistemas forestales boreales, la biomasa, el detritus, la turba (con 419 GtC) y el suelo (con 290 GtC) contienen en su totalidad 709 GtC (Apps *et al.*, 1993). Los bosques tropicales almacenan en la vegetación y el suelo 159 GtC y 216 GtC, respectivamente, para un total de 375 GtC (Brown *et al.*, 1993).

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son factores importantes para el cambio climático global, puesto que producen emisiones netas de dióxido de carbono.

Además, generan grandes problemas locales y regionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, se ha estimado que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en todo el mundo, los bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos cien años, permitiendo reducir de 20 a 50% de las emisiones netas de dióxido de carbono a la atmósfera (IPCC, 1995).

De ahí la importancia de conservar los bosques y manejarlos adecuadamente, y fomentar la forestación y reforestación de las zonas altamente degradadas, permitiendo una regeneración de la cobertura vegetal acorde al tipo de suelo, fisonomía del terreno y cercanía de cuerpos de agua.

3.4.2. Ciclo del carbono

El carbono está presente en todas las etapas y estados de la naturaleza, en el agua bajo la forma de compuestos carbónicos disueltos (los carbonatos), y en el aire como dióxido de carbono o anhídrido carbónico. Todos los organismos vivos están constituidos por compuestos de carbono, que obtienen como resultado de sus procesos metabólicos realizados durante su crecimiento y desarrollo, y que son liberados cuando éstos mueren. Aproximadamente, el 50% del peso seco de cualquier organismo lo constituye este elemento, por lo que es uno de los más importantes de la vida (Smith *et al.*, 1993b). Según Ciesla (1995), el ciclo del carbono se compone de cuatro reservorios o pool conectados (Figura 4): la atmósfera, la biosfera terrestre (incluyendo los sistemas de agua fresca), los océanos y los sedimentos (incluyendo los combustibles fósiles), los que desempeñan una función variable, pudiendo actuar a la vez como fuentes o sumideros de carbono (Ciesla, 1995).

El carbono se encuentra almacenado mayormente en los océanos y como reservas fósiles (Cuadro 5). El movimiento de carbono se concentra principalmente en la fotosíntesis, respiración y oxidación en los flujos entre la biosfera y la atmósfera (Ciesla, 1995).

En el subsistema biosfera, la cubierta vegetal remueve CO₂ desde la atmósfera a través de la fotosíntesis, el carbono se almacena en el follaje, fuste, sistema radicular, pero se concentra en el tejido de la madera del tronco; a su vez, se produce el flujo y salida de carbono del sistema (Margaleff, 1997; Manso, 1998). La longevidad de los árboles y

bosques permite que se almacenen grandes cantidades de carbono, alcanzando desde 20 a 100 veces más carbono por unidad de área que en tierras de cultivo agrícola (Ciesla, 1995). Esta función explica su responsabilidad en el ciclo del carbono y el sistema climático global (Karjalainen, 2002).

Se estima que el dióxido de carbono (CO₂) es el responsable del 70% del efecto invernadero. El uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo son considerados a nivel mundial como las dos principales fuentes netas de CO₂ a la atmósfera relacionadas con el cambio climático global (Martínez; Fernández. 2004). Las emisiones mundiales de CO₂ han experimentado un gran crecimiento entre 1971 y 2001 (Alcántara; Padilla, 2005). La emisión entre 1989 y 1990 de CO₂ proveniente del uso de combustibles fósiles se estimó en 6,0±0,5 GtC ⁽⁴⁾ (1Gt=10⁹t), comparada con 5,7±0,5 GtC emitidas en 1987 (IPCC, 1990). Por otro lado, el flujo neto de CO₂ emitido por cambio en el uso del suelo (principalmente por deforestación), se ha estimado en 1,6±1,0 GtC para la década de los 80 (IPCC, 1992). El ciclo global del carbono es complejo. En la figura 3 se puede observar el intercambio de carbono que se da entre la atmósfera y la biosfera; donde se aprecian los ciclos existentes (uno sobre tierra firme representado por la vegetación y otro sobre los océanos).

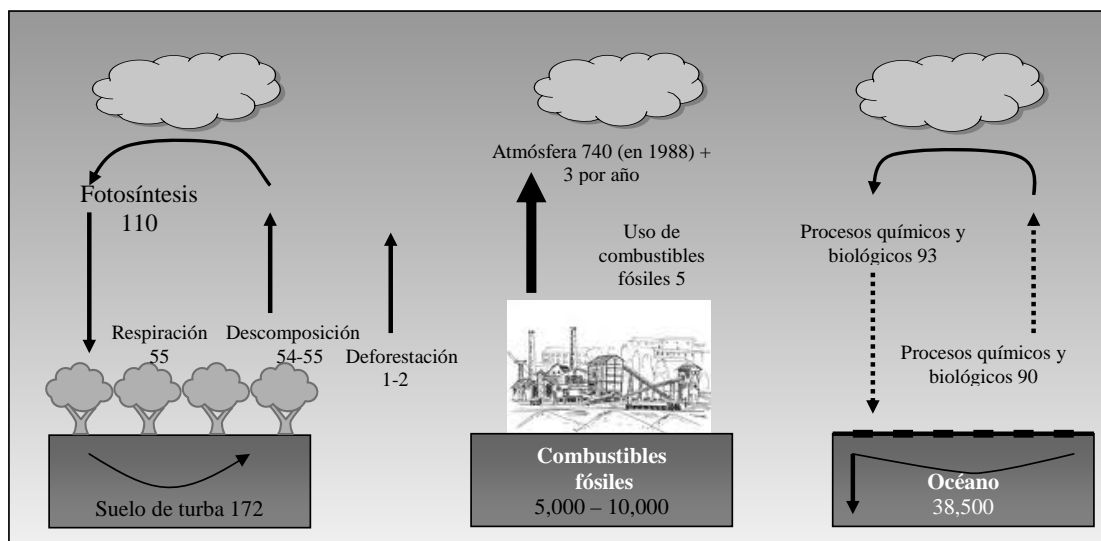


Figura 3. Como nace y donde se almacena el carbono (Fuente: modificada de Bolin *et al*, 1986)

Las unidades de esta figura están en GtC.

⁽⁴⁾GtC: Gigatoneladas de carbono.

Los bosques, a través de sus procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, absorben $110 \text{ Gt C/año}^{-1}$, mientras que mediante la respiración emiten 55 Gt C/año^{-1} y por medio de la descomposición⁵ emiten de 54 a 55 Gt C/año^{-1} . El suelo, el detritus y la turba almacenan 172 GtC aproximadamente. Los océanos absorben aproximadamente 93 Gt C/año^{-1} y emiten por procesos químicos y biológicos cerca de 90 Gt C/año^{-1} , además, de que se considera que conservan grandes cantidades de carbono (38.500 GtC). Estos dos ciclos eliminan de la atmósfera casi tanto carbono como el que le aportan de forma natural; pero actividades humanas como la deforestación y la quema de combustibles fósiles están provocando un aumento en la cantidad de carbono atmosférico en unos 3 Gt C/año^{-1} (Bolin *et al.*, 1986).

Componente	GtC (miles de millones de t de carbono)
• Océanos	38.000
• Reservas fósiles de carbono	6.000
• Suelos	
✓ Carbono orgánico	1.200
✓ Carbono de calcio	720
• Atmósfera	720
• Biomasa vegetal	560-835
Total	47.220-47.495

Tabla 5. Distribución estimada del carbono a nivel global.
Fuente: Sombroek *et al.*, citado por Ciesla (1995).

La muerte o cosecha del bosque ocasiona la liberación del carbono almacenado; como consecuencia de esta acción se produce un aporte de materia orgánica al piso del bosque, que dependiendo de las condiciones climáticas, puede mantenerse por largos periodos (Jandl, 2001).

La lenta tasa de liberación de carbono de los árboles muertos en pie (materia de descomposición y desintegración de hongos, bacteria y otros organismos) contrasta con una rápida liberación de grandes volúmenes a la atmósfera en disturbios bruscos causados por incendios forestales, aclareos o quema de bosques para la agricultura y poblados humanos (Ciesla, 1995).

⁽⁵⁾La descomposición y la respiración son los dos emisores naturales de los bosques. Sus emisiones suman un total aproximado de 110 GtC año^{-1} , por lo que en ausencia de deforestación hay un balance entre el Carbono emitido y el capturado.

3.4.3. Captura y almacenamiento de carbono de los bosques.

Las plantas incorporan el CO₂ atmosférico en sus procesos metabólicos mediante la fotosíntesis. Este CO₂ es el que va construyendo todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (follaje, ramas, raíces y tronco).

En la medida que el árbol crece va incrementando su follaje, ramas, flores, frutos y yemas de crecimiento (que en su conjunto conformaran la copa) así como su altura y el grosor de su tronco. Debido a que sus copas necesitan espacio para recibir energía solar sobre las hojas, estas van compitiendo para captar esta energía, lo que origina, a su vez, un dosel cerrado. Todos los componentes de la copa aportan materia orgánica al suelo, que al degradarse e incorporarse da origen al humus estable, éste, a su vez, aporta nuevamente CO₂ al entorno.

Paralelamente, los troncos al ir aumentando su diámetro y altura alcanzarán un tamaño aprovechable en términos comerciales, pudiéndose extraer productos como tablas, tablones y polines, que darán origen a subproductos elaborados, como muebles y casas. Estos productos finales tienen un tiempo de vida determinado, después del cual se degradan aportando CO₂ al suelo y/o a la atmósfera.

El tiempo en que el CO₂ contribuye y forma parte de la estructura del árbol y hasta que es enviado nuevamente al suelo o a la atmósfera, se considera almacenado. En el momento de su liberación (ya sea por la descomposición de la materia orgánica y/o por la quema de la biomasa) el CO₂ fluye para regresar al ciclo del carbono.

En la figura 5 se representa los flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal, donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable son almacenes de carbono, que se reincorporarán al ciclo por descomposición y/o quema de la biomasa forestal.

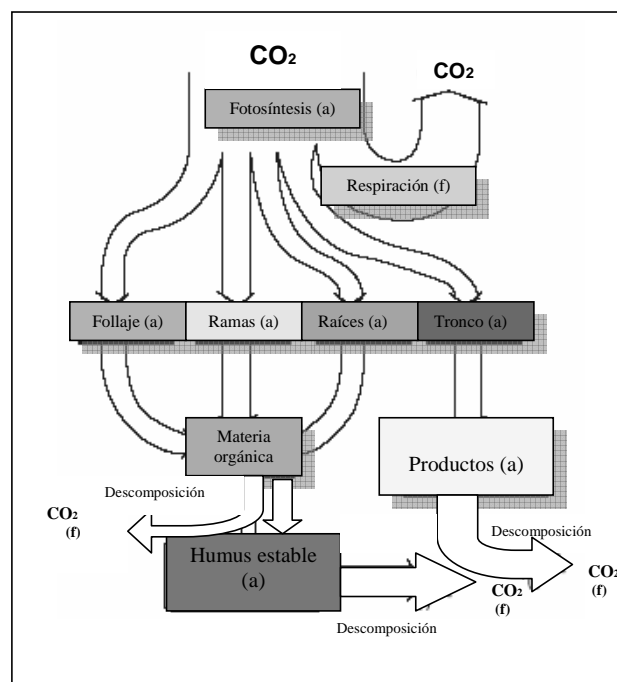


Figura 4. Flujos y almacenes de carbono en un ecosistema forestal (Modificado de Nabuurs y Morhen, 1993).

En la forestación y la regeneración natural se lleva a cabo la captura de carbono; es decir, el bosque desempeña la función de sumidero (Brown, 1997; Manso, 1998).

La regeneración natural de los bosques de segundo crecimiento ofrece condiciones óptimas para la fijación de carbono, el cual es sustraído de la atmósfera y acumulado como biomasa. El volumen fijado varía con la edad del bosque con un comportamiento exponencial, llegando a su máximo en un tercio del ciclo (Manso, 1998).

Para el caso de los bosques primarios, el CO_2 absorbido y el emitido están en balance, por lo cual el bosque es una reserva de CO_2 (Moura, citado por Calvo, 1998), en este caso la deforestación evitada cobra importancia (Manso, 1998).

Según Ciesla (1995), los bosques fijan mayores cantidades de CO_2 que los cultivos agrícolas, puesto que tienen mayor superficie foliar. Ciesla (1995), entrega algunas referencias sobre el almacenamiento de carbono en la biomasa, para algunas zonas de vida (Tabla 6).

Con respecto a la capacidad global de captación de carbono, los bosques pueden alcanzar una fijación de $2,9 \text{ GtC año}^{-1}$, mediante la forestación de 465 millones de ha con especies de rápido crecimiento cuyo costo asociado sería aproximadamente entre 186 y 372 billones de dólares y con especies de crecimiento lento, de 400 a 1200 millones de hectáreas (Sedjo y Solomon, 1989, citado por Ramírez, 1998).

Zonas de vida de Holdridge	TC/ ha ⁻¹
▪ Boscosas	
✓ Tropical lluviosa	100
✓ Tropical húmeda	70
✓ Tropical seca	50
✓ Templada cálida	50
✓ Templada fría	50
✓ Boreal lluviosa	55
✓ Boreal húmeda	40
▪ No boscosas	
✓ Estepa templada fría	5
✓ Boreal desértica	5
✓ Tundra	2,5

Tabla 6. Estimación de un promedio del almacenamiento de carbono por hectárea, en la biomasa de algunas comunidades vegetacionales.

Fuente: basado en Olsen et *al.*, citado por Ciesla (1995).

Se estima que el potencial de mitigación de emisiones del sector forestal alcanza entre un 11 y un 15 % de las emisiones totales procedentes del uso de combustibles fósiles hasta el año 2050 (Brown et *al.*, citado por Pedroni, 1999 y Brown, 1997). Los bosques tropicales podrían lograr teóricamente la mitigación de un 80% de esta cantidad; sin embargo, barreras de tipo socioeconómica, legal, política e institucional dificultan este potencial, cuestionando seriamente la capacidad de mitigación de estos bosques (Bekkering, citado por Pedroni, 1999).

3.4.4. Efectos de la deforestación.

Producto de la deforestación, el aprovechamiento forestal deficiente, la tala y quema intencional, el bosque se convierte en una fuente emisora de carbono (Brown, 1997; Manso, 1998). Pearce, citado por Manso (1998), menciona que por hectárea de bosque tropical deforestado se liberan 100 toneladas de carbono.

El papel de los bosques templados y boreales como foco de emisión neta en el ciclo global del carbono no es significativo, condición que a futuro puede variar por dos motivos: una tasa de deforestación de bosques tropicales en aumento y la cercanía a la

madurez de los bosques boreales y consecuente merma de capacidad de sumidero (Brown, 1997).

3.4.5 Cuantificación del Carbono.

Para determinar la cantidad de carbono que un bosque secuestra, almacena o libera, es necesario identificar y analizar cada fuente carbonada que existe en la vegetación, tanto en sus componentes aéreos y subterráneos, así como también en el suelo (necromasa y contenido mineral).

La distribución del carbono en un bosque puede conocerse a través de la estimación del contenido parcial de carbono, en cada uno de sus compartimentos (Figura 2). Así, es necesario la cuantificación de árboles completos, vivos y muertos; raíces, tocones, fustes (incluyendo la corteza), ramas y follaje (Husch, 2001). En Chile el proyecto FONDEF N° D98/1076 “Medición de la Captura de Carbono en Bosques de Chile y Promoción en el Mercado Mundial del Carbono” categorizó la distribución del carbono en un bosque en 3 componentes: biomásicos (hojas, ramas, fustes, raíces), necromásicos (hojarasca y detritos leñosos) y componentes del suelo (Gayoso, 2000).

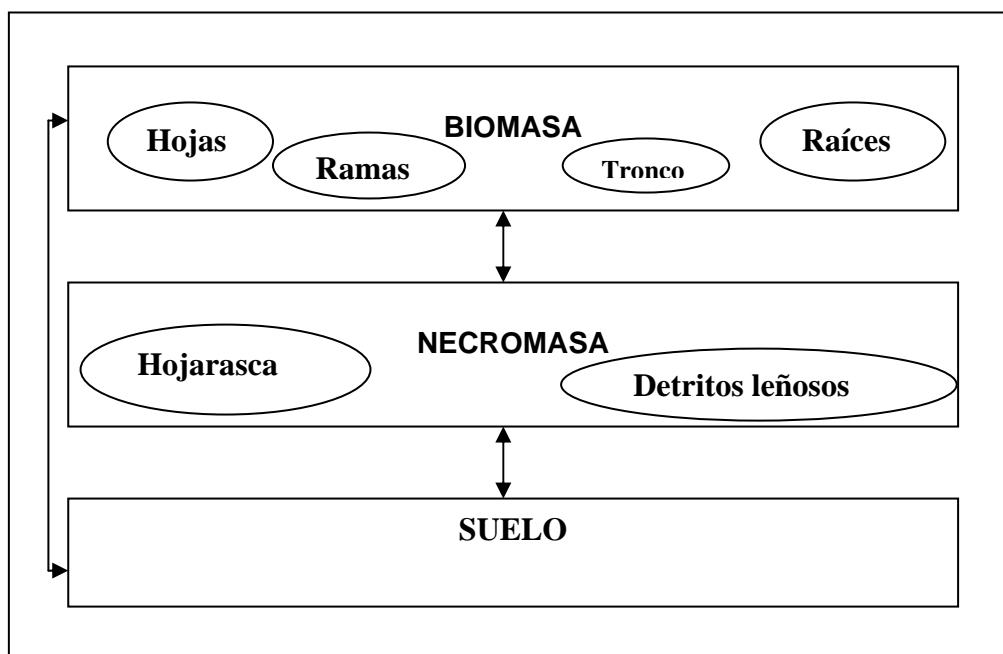


Figura 5. Distribución simplificada del carbono en el bosque.

↔ Representa los flujos

Fuente: Adaptado de Gayoso (2000).

3.4.6. Mantener y aumentar los bosques como sumideros de Carbono

Esto se logrará a través de la forestación y reforestación, el uso de técnicas biológicas y de manejo silvícola orientadas a mejorar la productividad de los bosques existentes y a la mantención del carbono almacenado en el suelo.

La forestación es una de las alternativas más evidentes para mantener y aumentar los sumideros, ya que para su desarrollo se requiere de terrenos adecuados dado que la exigencia apunta a máximas tasas de fijación de carbono. Resulta fundamental considerar aspectos como: características de las especies a establecer (tasas de crecimiento, longevidad), características del sitio (precipitaciones, periodo de crecimiento) y modelo de manejo (rotación, uso y duración de los productos forestales). La forestación y reforestación entendiéndose como está la conversión de una área sin bosque que estuvo forestada en el pasado, que a través de la plantación, siembra o acción inducida por el hombre para así favorecer la regeneración, como propuesta de ampliación de sumideros⁶ de carbono, deben incluir un análisis de sustentabilidad que contemple aspectos como aceptabilidad social de nuevas plantaciones, susceptibilidad ante eventuales plagas y enfermedades, usos alternativos del suelo y conservación de la biodiversidad.

Los esquemas de forestación y reforestación incurren en altos costos y largos plazos de retorno; por lo tanto, se proyectan como esquemas de manejo con una sola especie, las cuales deben ser de rápido crecimiento, en rotaciones cortas y con políticas de mínimo costo. Estas condiciones llevan a estudiar las formas de manejo más apropiadas para asegurar un real y efectivo aporte al medio ambiente con este tipo de especies.

Se afirma que el potencial de las opciones forestales de mitigación no es infinito, pues existen algunos factores que se encuentran limitándolo (Ramírez, 1998): (a) aspectos socioeconómicos; (b) la disponibilidad global de superficies aptas para la implementación de medidas forestales; y, (c) la capacidad incremental y neta de fijación de cada especie.

⁶Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC), se entiende por sumidero cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero (GEI), un aerosol o precursor de GEI de la atmósfera. Este término se asocia a la captura de C en los bosques. (Gayoso J, 2001)

Sin embargo, los bosques autóctonos de Chile presentan una atractiva posibilidad de manejo sustentable con la intención de participar en el mercado de los servicios ambientales, comercializando las externalidades que presenta una masa forestal de sus características.

Quizás el principal problema en el manejo del bosque nativo es el bajo retorno económico que se puede obtener con la comercialización de los productos extraídos en las claras, razón por la cual muchos propietarios desisten de manejarlos. Este poco interés, no siempre se debe a que los precios de los productos extraídos del bosque sean bajos, ya que el problema de fondo no es éste, si no que debido a la distancia que hay entre estos bosques y los centros de consumo el costo de transporte de los productos es alto. A esto se le suma que un gran porcentaje de los bosques nativos se encuentran con un alto grado de alteración, debido a que no se ha hecho correcto uso del recurso (floreos, incendios, ingreso de ganado, etc.). En especial se encuentran alterados los bosques bajo los 800 m s.n.m que en esta región integran los tipos forestales Siempreverde (SV) y Roble-Raulí-Coigüe (RO-RA-CO). Por estas razones, la posibilidad de manejar estos bosques como sumideros de carbono y evaluar económicamente un sistema de manejo que permita su desarrollo sustentable, sobre todo de renovals del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe (RO-RA-CO), que son los que se encuentran en mejor situación de ser manejados.

3.5. Mercado internacional del carbono

La preocupación mundial por el fenómeno del calentamiento global y sus posibilidades de mitigación, condujo a una serie de reuniones que finalmente a acuerdos de reducción de emisiones de los Gases Efecto Invernadero (GEI). Para el cumplimiento de los compromisos señalados en las convenciones de diseñaron instrumentos de mitigación y así ayudar con el cumplimiento de las metas de reducción de GEI planteadas.

Para esto de creo un instrumento de incentivo para los países y empresas privadas, el cual bajo la utilización de las fuerzas del mercado mundial, motivara por medio de la vía de incorporación de tecnología y la económica a acelerar el proceso de reducción de emisiones y captura de carbono, con objeto de proteger el medio ambiente. Surge así el "Mercado Internacional del Carbono" (MC), el cual basa su accionar principalmente en la oferta de bonos transables provenientes de dos fuentes distintas: la reducción de emisiones en proceso productivos y la oferta de bonos provenientes de la captura de

carbono por medio de "Sumideros"; junto con la demanda de estos certificados de reducción (CERs)⁷ o bonos por los países que ya han asumido compromisos de reducción.

Luego de negociaciones intensas y no ajenas a incertidumbres y problemas, a la fecha se han logrado importantes acuerdos, los cuales confirman que este mercado es no sólo una buena herramienta mitigadora del Efecto Invernadero y el Cambio Climático, sino que además contribuirá al desarrollo sustentable en el planeta.

3.5.1. Bases del mercado del carbono

Como resultado de la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, de Río de Janeiro en 1992, la cual reconoció la importancia de incorporar los costos y beneficios ambientales en los mecanismos de mercado con el fin de lograr una mejor aceptación para la conservación y gestión sostenible de los recursos forestales a nivel local, nacional e internacional, lo permitió la posibilidad de incluir costos y beneficios ecológicos en los sistemas de gestión de los recursos naturales.

Los recursos forestales son los que representan los más altos niveles de servicios ecológicos como la captura de carbono y la conservación de biodiversidad, suelo y agua. La oportunidad de establecer un valor económico de los beneficios que la naturaleza ofrece de forma gratuita, alerta a las sociedades sobre pérdidas de elementos y funciones ecológicas que son sustento de la actividad económica y su propio bienestar (Olguín, 2001).

Aunque en la actualidad no se puede reconocer que el mercado de captura de carbono este bien conformado y que este satisfaga la demanda y oferta existente. Prueba de ello es que la mayor cantidad de las transacciones se han realizado a través de arreglos directos entre gobiernos u organizaciones no gubernamentales y los proveedores del servicio ambiental.

⁷CERs: Corresponde a un crédito otorgado por la reducción de emisión (o fijación) de una tonelada de CO₂.

Cabe desatacar, que los mercados de captura de carbono se definen en dólares por tonelada de carbono capturado. El valor económico de cada tonelada de carbono depende principalmente de los costos marginales del cambio climático, pero son muy difíciles de estimar dado que requiere de una enorme cantidad de proyecciones y supuestos. Nordhaus (1991) sugiere un costo marginal de 5 US\$ (dólares americanos) / tC (toneladas de carbono), mientras que Frankhauser (1995) estima este costo en 20 US\$ / tC. Empresas consultoras sobre el tema normalmente usan un estándar de 10 US\$ / tC.

La unidad de carbono capturado tiene un valor de mercado que determinará finalmente un precio que estará definido entre los costos de producción del servicio (el lado de la oferta) y los costos de reducción de emisiones de los compradores localizados en países desarrollados (el lado de la demanda). Lo anterior indica que existirá un rango muy grande en el valor de cada unidad de carbono capturado, por lo que deberá existir algún tipo de discriminación, probablemente a través del nivel de riesgo de proyectos, de la reputación de los países y de la calidad en el monitoreo de los proyectos, entre otras variables. Ello sugiere que los proyectos a largo plazo como es el caso de proyectos con especies nativas de Chile, que tienen un lento crecimiento, deben cuidar minuciosamente la calidad del producto y fiabilidad del proyecto.

Para un país ofertante de este tipo de proyectos las ventajas comparativas estarán definidas por la productividad de la tierra, la capacidad hidroeléctrica y de producción de alternativas energéticas diferentes a la combustión de hidrocarburos, la localización del país y a los costos de oportunidad del uso forestal (Rojas, 1999). A su vez, cualquier país que desee realidad estas ventajas, deberá contar con un marco legal e institucional (tanto gubernamental como no gubernamental) que permita no sólo identificar, planear, ejecutar y administrar eficientemente proyectos de captura de carbono, sino que sea capaz de tener un monitoreo adecuado y alta credibilidad en la calidad del servicio brindado.

Dentro y fuera del Protocolo de Kyoto se presentan diversos esquemas que permiten y fijan los límites del intercambio de emisiones. Es así como podemos distinguir clases de transacciones y sus respectivos esquemas.

3.5.2. Transacciones de carbono

Se entiende como una transacción de carbono, a la compra de un contrato donde una de las partes paga a otra a cambio de una cantidad de reducciones de emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), esta reducción puede ser transada en forma de permisos o créditos que el comprador puede usar para cumplir su acuerdo de mitigación de GEI.

Existen variadas formas de realizar el pago por reducción de emisiones, de los cuales los mas usados son los siguientes: efectivo, deuda, o en clases de contribuciones tales como proveer tecnologías para reducir las emisiones de GEI. Esto define la forma de transacción, entre las cuales están las siguientes.

Transacciones basadas en permisos, son aquellas donde el comprador adquiere permisos de emisión, cuya colocación o subasta es regulada bajo esquemas de fijación de límites y comercio, como lo son las Unidades de Monto Asignado (AAUs –Assigned Amount Units-) bajo el Protocolo de Kyoto, o Unidades Europeas Asignadas (EUAs - European Units Assigned-) bajo el Esquema Europeo de Transacción de Emisiones (EU ETS - European Union Emisions Trade Scheme-).

Transacciones basadas en proyectos, son aquellas donde el comprador adquiere créditos de emisión de un proyecto, el cual debe demostrar luego de un estudio de factibilidad su capacidad de reducción de Emisiones de GEI, comparadas con un escenario donde no exista dicho proyecto, a esto se le llama *Línea base*. Este tipo de proyectos se dan bajo la figura del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y el Sistema de Implementación Conjunta (IC) descritos en el Protocolo de Kyoto. Estos tipos de proyectos son los que generan en definitiva los Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) y Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs) respectivamente⁹.

3.5.3. Tipos de productos de CO₂ disponibles en el mercado

Los productos de reducción disponibles para el periodo 2008-2012, incluidos en los planes nacionales de los países con compromiso de reducción son los siguientes.

- RCE secundarias: Reducciones certificadas de emisiones provenientes de un proyecto MDL emitidas por la Junta Ejecutiva del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- RCE y Unidades de Reducción de Emisiones (URE) primarias: Son los créditos obtenidos en proyectos de los mecanismos de Kioto disponibles de los dueños de los proyectos mediante la contratación a largo plazo.
- VER: Son reducciones verificadas de emisiones obtenidas al margen de los mecanismos de Kioto con sus propios sistemas de verificación.

Estos productos no están exentos de riesgos asociados a la variabilidad de sus precios de mercado.

Las principales variables que afectan al precio de los derechos de emisión se pueden dividir entre factores fundamentales y factores estructurales/ coyunturales.

FUNDAMENTALES

- Oferta-Demanda. A mayor oferta que demanda, el precio baja y viceversa
- Condiciones Meteorológicas (olas de frío, calor, lluvias, etc.). En inviernos y veranos suaves, hay menos necesidad de energía y por lo tanto menos producción.
- Precio relativo Materias primas, carbón, electricidad, gas y petróleo. El precio de las materias primas condicionará el uso de un tipo u otro de combustible. Estos son más o menos contaminantes dependiendo de su composición.

ESTRUCTURALES-POLÍTICAS

- Políticas de los gobiernos (rigor, credibilidad). Marco legal concreto, estable, riguroso y creíble.
- Entrada de nuevos países. Dependiendo de sus características puede que sean deficitarios o excedentarios y eso afectar a la oferta y demanda.

- Funcionamiento de Registros que es donde se alojan los derechos.

3.5.4. Tipos de secuestros de CO₂ Transados.

El secuestro permanente

Se define al cual propone que sólo un secuestro o captura permanente del carbono permitiría la emisión de un CERs por parte del proyecto en una cantidad basada en los cambios de stock de carbono. En de la cosecha del bosque o que se quemara, se debería entonces compensar con una reducción equivalente de emisión de carbono (ONF Andina, 2002).

La considerar implementar este enfoque como alternativa para la emisión de CERs se debe lidiar con dos problemas. El primero consiste en que la responsabilidad permanente es un desincentivo a la inversión forestal por parte de los inversionistas y de los países huéspedes, quienes asumirían esta responsabilidad. El segundo problema, consiste en que al dedicar tierras al secuestro permanente de carbono se restringiría la soberanía de los países en vías de desarrollo porque tendrían que permitir el monitoreo continuo por terceros, adicionalmente se podrían producir conflictos en el uso de la tierra, como por ejemplo con la agricultura, poniéndose en riesgo la provisión de alimentos en una región determinada.

La tonelada-año, o secuestro semi-permanente

El secuestro semi-permanente provee CERs permanentes para un secuestro o captura temporal. Secuestrar una unidad de carbono por una duración limitada, por ejemplo 50 años, recibiría créditos para compensar una unidad permanente de emisión. Este enfoque se justifica basando la duración del secuestro en el tiempo de permanencia en la atmósfera del carbono. Desde un punto de vista conceptual, si una tonelada de carbono fuera secuestrada para compensar una emisión de una tonelada, una vez que la tonelada emitida fuera capturada, no haría falta seguir secuestrando el carbono inicialmente retenido para mantener un balance cero en la atmósfera (ONF Andina, 2002).

El problema con esta contabilidad es que resulta difícil establecer la duración de secuestro necesaria, en bases científicas, para que la captura temporal sea equivalente a

un secuestro permanente. Se podría considerar un factor conservador de equivalencia (entre 100 y 150 años) pero esto desincentivaría a los inversionistas.

El problema de la no permanencia del secuestro

Existe una constante discusión acerca de la permanencia del secuestro del carbono en la biomasa de los bosques, ya que esta captura puede ser sólo pasajera, es decir se puede emitir de nuevo a la atmósfera en caso de que se perturbe el bosque.

La no permanencia del carbono en proyectos forestales esta directamente ligada al ciclo de vida de los bosques. Son la acción humana o la ocurrencia de perturbaciones naturales como incendios, plagas, tala ilegal, robos, entre otras las que pueden convertir a sumideros y reservorios de carbono en fuentes de emisión, revirtiendo el proceso de captura (Neuenschwander, 2003).

Los stocks de carbono almacenados en proyectos de forestación y reforestación son totalmente vulnerables a estos procesos. Pedroni (2002) menciona que el tema de la no permanencia ha sido una de las mayores desventajas para que los proyectos forestales sean considerados como aptos para mitigar el cambio climático.

Existe una clara diferencia entre la duración de los sumideros y la permanencia de los reservorios. En el primer caso los sumideros pueden saturarse al llegar un bosque a su estado clímax de crecimiento. En el segundo caso la permanencia de los reservorios de carbono existe mientras el manejo o algún efecto indirecto ocasionen la liberación del carbono capturado (IPCC, 2003b).

3.5.5. Tipos de operaciones dentro del mercado de emisiones

Los mercados financieros presentan variadas formas de operar en el mercado del carbono, pero las principales son las operaciones a contado (SPOT) y a futuro (FORWARD/ FUTUROS). La forma en que se opere dependerá de las necesidades de cada participante, las características del mercado, la evolución de precios y de la complejidad de las operaciones a realizar, incluso se podrá operar combinando las opciones contado y futuro, se pueden, intercambiar productos y fijar condiciones “a medida”. Cuando esto suceda estaremos hablando de operaciones ESTRUCTURADAS. Las principales características de cada tipo de operación se enuncian a continuación:

SPOT:

- Negociación en el mercado al contado de cualquier producto.
- Entrega máxima dos días hábiles tras el acuerdo.
- Pago en función de lo acordado entre las partes.

FORWARD:

- Contrato a plazo con entrega en un futuro.
- Condiciones de pago, vencimiento y forma de liquidación se acuerdan entre las partes.

FUTUROS:

- Contrato a plazo con entrega en un futuro pero a diferencia del forward se negocian en mercados organizados (bolsas).
- Las características de la operación quedan fijadas en cada contrato.

ESTRUCTURADOS:

- Cobertura de precios (Hedge) y optimización de Spreads
- Opciones
- Permutas CER/EUA

3.5.6. Contratos utilizados en el mercado de emisiones

La complejidad de las operaciones que se realizan hoy en el mercado de emisiones a provocado una gran sofisticación de los contratos. Es así como podemos encontrar un sin numero de tipos de contrato, desde los más simples basados en la confianza, hasta los más complejos procedentes, en muchos casos, de los sectores financieros y energéticos.

Dentro de los más habituales podemos encontrar:

IETA

- Creado por la “International Emissions Trading Association”
- Es el contrato generalmente más utilizado entre los brokers.

EFET

- Creado por la “European Federation of Energy Traders”
- Contrato usado para trading de electricidad donde se le añade un apéndice para incluir el comercio de derechos de emisión.

ISDA

- Creado por la “International Swaps and Derivatives Association”.
- Contrato eminentemente financiero. Anexo al acuerdo Marco para adaptarlo a la compra-venta OTC de derechos de emisión.

Otros

- Específicos de cada Plataforma de Negociación
- Contrato/Confirmación hecho a medida por cualquier contraparte

3.5.7. Beneficios de los PFCLC (proyectos forestales de captura y limitaciones de emisiones de carbono)

Tradicionalmente, el bosque ha sido ordenado con el objeto de generar productos maderables o convertirlo a la agricultura o ganadería. En la actualidad, esta orientación se está reemplazando por la promoción de los servicios no tradicionales (Calvo, 1998). Internacionalmente, se está trabajando en una propuesta común para el diseño de instrumentos de mercado que permitan compensar económicamente la provisión de bienes y servicios provenientes del bosque (Vargas, 1999).

El bosque genera beneficios directos y beneficios indirectos dentro de los cuales están los servicios ambientales. Los directos, derivan de los recursos del bosque, como productos forestales maderables (madera, chapas, pulpa) y no maderables (forrajes, alimentos, medicamentos, ceras y aceites). Estos beneficios tienen una expresión de precios en el mercado de los bienes transables. Los servicios ambientales (beneficios indirectos), como regulación hídrica, protección de suelos, regulación del intercambio de gases efecto invernadero, mantención de la biodiversidad, bellezas escénicas y paisaje, a diferencia de los anteriores, carecen de precio de mercado en Chile, lo que ocasiona que la internalización de estos beneficios no se lleve a cabo (Calvo, 1998; Vargas, 1999).

Manso (1998), apoya el pago por los servicios ambientales en base a una teoría que sustenta que “los bosques se conservan si los propietarios son compensados por los servicios ambientales que prestan a la sociedad”.

Vargas (1999), concibió la fijación de carbono como un instrumento de mercado no excluyente, por lo cual se permite su aplicación en conjunto con los demás instrumentos tradicionales de mercado, aplicable en la tarea de asegurar la adecuada provisión de

bienes y servicios ambientales de los bosques. Su comercialización, en consecuencia, debe ser complementaria o alternativa a soluciones costo-eficiente óptimas. Para Tatembach (1998), la comercialización de la fijación de carbono, en términos económicos, corresponde a un subproducto muy importante que puede ser obtenido en actividades forestales como conservación de bosques, manejo sostenible de bosques y reforestación en pequeña escala, que de acuerdo a las condiciones de mercado actuales no son rentables.

Airol, citado por Chacón (1998), estimó el mercado potencial del servicio ambiental de fijación de carbono en un monto aproximado entre US\$ 10 a 40 billones, pronóstico para todos los países del mundo con posibilidades para este tipo de servicio. Esta suma se considera como una alternativa interesante para el sector forestal productivo y de conservación, en aquellos países donde esta alternativa de negocio ambiental es viable. El volumen potencial del futuro mercado de servicios y certificados de reducciones de emisiones se estima en decenas y hasta centenares de millones de dólares (World Bank; citado por Pedroni, 1999). Se afirma que el precio actual de la tonelada de carbono mitigada corresponde al rango de 14,32 € (<http://www.sendeco2.com>, Enero 2011).

Según Gayoso (2000), basado en el potencial de las plantaciones forestales, se indica que Chile presenta una oferta de 25 millones de tC, con un costo promedio de 25 US\$ tC⁻¹ y un costo marginal prácticamente de 0. En este ejemplo, el autor compara la situación de Chile con la de Costa Rica, que alcanza una oferta aproximada de sólo 8 millones de tC, a un costo de 11 US\$ tC⁻¹. En efecto, Costa Rica presenta un menor costo, situación que ocurre porque sus proyectos se basan en la conservación de bosques, por lo tanto no contemplan la adquisición de terrenos.

En la actualidad Chile posee un solo tipo de bosques con características de ser manejados bajo el concepto de conservación y con el fin de transformarlos en sumideros. Este objetivo ha llevado a realizar trabajos que nos permitan hacer estimaciones referentes al potencial de captura de carbono de los bosques nativos chilenos. Es de mucha importancia para poder plantear, aplicar y probar una metodología, realizar estudios en bosques que presentan un mayor potencial de desarrollo económico como lo son los del tipo forestal Roble –Raulí –Coigüe (*Nothofagus obliqua*- *Nothofagus alpina*-*Nothofagus dombeyi*) en la IX Región, Chile. De esta forma podremos extender el debate sobre el tema y estos estudios de captura de carbono servirán de soporte a nuevos estudios de las muchas aristas que tiene la problemática ambiental de prestación de servicios indirectos del bosque, especialmente

a aquellas orientadas a la conservación del recurso y los posibles beneficios económicos y ambientales que se reportarían, tomando en consideración que los procesos de mejoras tecnológicas y otros mecanismos de reducción de emisiones, resultan ser mucho más costosos que procesos basados en la gestión de la biomasa forestal.

3.5.8. Cómo acceder al mercado

Entre los años 2005 y 2007, años considerados de prueba para el mercado del carbono, donde los volúmenes y la liquidez eran relativamente pequeños. Los resultados de ese periodo de prueba nos permiten hoy en día enfrentarnos a un crecimiento exponencial de los volúmenes negociados el cual también se ve reflejado en la liquidez disponible. Alrededor de 20 millones de toneladas de carbono son negociadas diariamente en las distintas bolsas. La criterio de equivalencia universal para este tipo de operaciones es que una tonelada equivale a un derecho de emisión ($1 \text{ Ton} = 1 \text{ EUA1} = 1 \text{ RCE} = 1 \text{ URE}$).

Se accede a este mercado de forma, Bilateral, entre participantes (Teléfono, cara a cara...), mediante Broker-OTC (participantes intermediados) (Teléfono o plataforma) y también mediante los Mercados Electrónicos Organizados-Bolsas (Plataforma).

La operación en cualquier mercado financiero lleva implícito riesgos que se deben asumir, dentro del mercado del carbono podemos distinguir tres que son importantes tener en cuenta antes de decidir como operar.

- **Riesgo de Precio.** ¿Cual es el precio justo en un momento determinado? El comprador y el vendedor tendrán intereses contrapuestos. En un mercado volátil como el del CO₂, ¿como puede estar seguro el vendedor que está vendiendo al mejor precio posible? En el caso del comprador, ¿estará comprando al precio más bajo disponible?
- **Riego de Liquidez.** ¿Se encontrará lo que se necesite en el momento justo? ¿Podrá el vendedor operar justo cuando considera que el precio es el óptimo? En el caso del comprador, ¿podrá este comprar justo cuando necesite, por ejemplo, entregar a la administración los derechos equivalentes a sus emisiones?
- **Riesgo de crédito.** Especialmente significativo en la situación actual de desconfianza financiera y de aumento de la morosidad. ¿Se cobrará lo vendido? ¿Se recibirá lo comprado?

Durante el avance de este tipo de mercado ambiental, se ha ido sofisticando su acceso situación que ha minimizado los riesgos descritos en el párrafo anterior.

Siendo reconocida como la forma más sencilla de operar es la transacción bilateral y la más compleja (y segura) la Bolsa y mercados organizados (donde se garantizan el 100% de las operaciones y se dispone de mayor liquidez y mejor formación de precios). En los últimos años las tendencias de los agentes participantes en el mercado ha ido cambiando.

Si bien en un primer momento se accedía al mercado principalmente de manera bilateral o intermediada mediante brokers (también denominada OTC), alcanzando niveles del 80% sobre todo lo que se negociaba en el mercado, actualmente las preferencias son a la inversa. Como se comentaba anteriormente, en la situación de crisis global que estamos viviendo, se intentan minimizar los riesgos al máximo. Así pues, en los últimos 10 meses, las operaciones OTC significan tan solo e 30% de las transacciones. Por el contrario, en las diferentes Bolsas y plataformas europeas, se negocia alrededor del 70% del total.

El mercado de CO₂, al igual que otros mercados, se inicia negociando de la manera más sencilla y cómoda posible para los participantes. Posteriormente el mercado evoluciona y adquiere una mayor madurez que exige modelos más competitivos, transparentes, eficaces y económicos como son las plataformas de negociación.

3.5.9. Principales bolsas de CO₂ en el mundo

BlueNext: Bolsa de emisiones que pertenece al grupo NYSE-EURONEXT. Es un mercado principalmente SPOT y recientemente también funciona como futuro. Con sede en París es considerado el mercado principal al contado para las grandes empresas energéticas y financieras europeas.

ECX: Bolsa especializada en los mercados a futuro, también incursiona hoy en la operativa SPOT). Con sede en Londres, en su momento fue considerada la Bolsa con mayor liquidez del mundo. Aunque con seria competencia de BlueNext, aún puede considerarse el mercado principal a futuro para las grandes empresas energéticas y financieras europeas.

SENDECO2: Es la Bolsa Mediterránea de CO₂ especializada en pymes. Se trata del primer y único mercado al contado del Sur de Europa. Dispone de sedes en Barcelona, Madrid, Castellón, Lisboa y Milán. Los principales clientes de SENDECO2 son las

empresas de cumplimiento incluidas en la Directiva Europea de Comercio de Emisiones.

3.6. Desarrollo de “línea base” para el diseño de proyectos de carbono

La determinación de una buena línea base para la comparación de la situación “con y sin” proyecto es un tema fundamental para demostrar la adicionalidad que un proyecto generará. Es esta línea base la que nos permite determinar el número de CERs que generará el proyecto.

La determinación de esta línea base deberá ir apoyada por un inventario del stock de carbono existente antes de la realización del proyecto, utilizando una metodología que arroje resultados lo más ajustado a la realidad, con objeto de no presentar un problema frente al primer principio rector de las actividades de cambio en el uso de la tierra y selvicultura (LULUCF).

Husch (2003), describe las siguientes mediciones con y sin proyecto, detalladas en el Tabla 7, para comparar las cantidades de carbono entre una situación “sin proyecto” contra una situación “con proyecto”.

Durante el primer periodo de compromiso de reducción de emisiones impuesto por el Protocolo de Kyoto (PK), no se consideraron la preservación del bosque nativo, como tampoco el manejo del mismo, hoy este tipo de vegetación mediante la preservación de bosques y manejo de los mismos es considerada como herramienta de mitigación del efecto invernadero.

Se deben considerar en una buena medición de los stocks de carbono no sólo la biomasa viviente (vegetación menor y árboles completos incluyendo raíces), sino que además la biomasa muerta sobre el suelo (detritus leñoso y hojarasca) y también el carbono incorporado en el suelo y últimamente se estudia incluir el ciclo carbono dentro de la atmosfera de una masa forestal.

Tipo de Proyecto	Comparación de cantidades de carbono	Mediciones requeridas
<i>Preservación del Bosque Nativo</i>	<u>Línea base:</u> En terrenos vecinos convertidos de bosques a agricultura u otros usos	Parcelas o transectos temporales para estimar biomasa y carbono en cultivos agrícolas, malezas, pastos y suelos
	<u>Proyecto:</u> En el bosque nativo preservado	Parcelas o transectos permanentes para estimar biomasa y carbono en árboles, sotobosque, hojarasca, detritus y suelos; fotos aéreas y satelitales
<i>Manejo de Bosque Nativo</i>	<u>Línea base:</u> Con las prácticas normales	Parcelas y transectos permanentes Para estimar biomasa y carbono en árboles, sotobosque, hojarasca, detritus y suelos; fotos aéreas y satelitales
	<u>Proyecto:</u> Con las prácticas mejoradas	Parcelas y transectos permanentes Para estimar biomasa y carbono en árboles, sotobosque, hojarasca, detritus y suelos; fotos aéreas y satelitales
<i>Establecimiento de plantaciones forestales</i>	<u>Línea base:</u> En la vegetación y suelos existentes	Parcelas y transectos para estimar biomasa y carbono en la vegetación, hojarasca, detritus y suelos actuales con estimaciones para el futuro si no hay proyecto
	<u>Proyecto:</u> En las plantaciones establecidas	Parcelas y transectos permanentes para estimar biomasa y carbono en los árboles, otra vegetación y suelos para la rotación de la plantación

Tabla 7. Mediciones requeridas para hacer comparaciones de cantidades de carbono entre líneas de base y proyectos propuestos
Fuente: Husch, 2003.

3.6.1. Estructura del mercado de CERs (Créditos de reducción de emisiones)

Luego de finalizado el ciclo del proyecto diseñado para la reducción de emisiones, un titular del mismo podrá obtener los CERs (un CER equivale a cada tonelada de CO₂), los cuales pueden ser comercializados, durante o después de su emisión.

Las dos siguientes fases son la *emisión primaria de CERs* y *el mercado secundario*. La emisión primaria la realiza la Junta Ejecutiva (JE) del MDL, de acuerdo con el procedimiento regulatorio contenido en el PK, los Acuerdos de Marrakech y las decisiones de la JE. Una vez que se certifican las reducciones de GEI logradas por el proyecto, la JE ordena el Registro del MDL (con asiento en Naciones Unidas), la expedición de los CERs correspondientes y los titulares del proyecto y/o compradores de los certificados.

Finalmente los CERs ya emitidos pueden ser intercambiados en el *mercado secundario* como cualquier commodity (Trading de créditos).

3.6.2. Análisis de la demanda

La demanda por CER está compuesta por los gobiernos y el sector privado de los países desarrollados que han asumido compromisos de reducción de emisiones de GEI. En el caso de los gobiernos de los países desarrollados la compra de grandes cantidades de CER se vincula con la decisión de asumir los costos derivados del cambio climático como política nacional, evitando el impacto de los mismos en sus respectivos sectores industriales.

El interés por los CER también alcanza a organismos multilaterales, bancos y brokers que buscan posicionarse en el sistema y anticiparse al desarrollo futuro del mercado Kyoto. Por lo tanto, encontramos dos tipos de demanda:

- Demanda de países para alcanzar los compromisos de Kyoto
- Compañías privadas con obligaciones domésticas

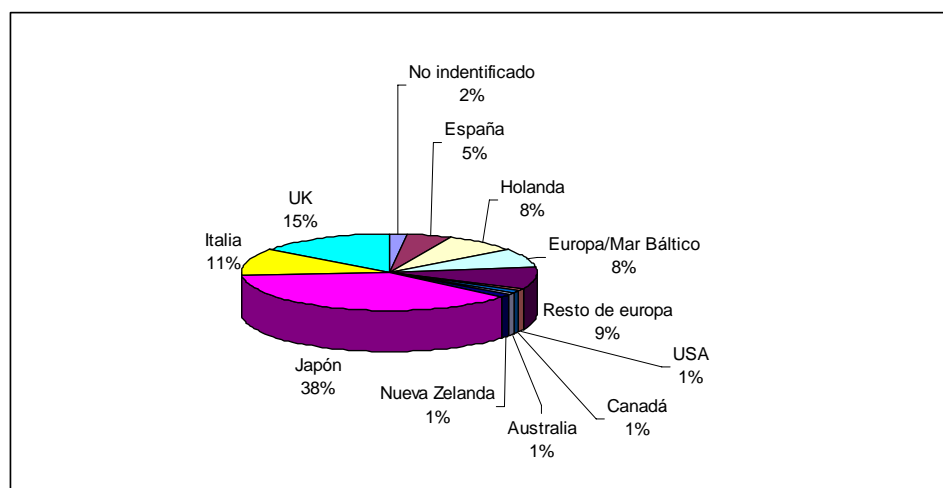


Figura 6: Principales compradores de CERs
Fuente: BCBA y el Mercado del Carbono, 2006

3.6.3. Análisis de la oferta

El cuadro 7 muestra los datos correspondientes a los CERs emitidos al 5 de febrero del 2007 según la UNFCCC, detallando la cantidad emitida por países y su participación en el total.

Latinoamérica experimenta un fuerte crecimiento en la emisión de CERs, esto porque la riqueza de sus RRNN esta permitiendo el diseño y desarrollo de nuevos y novedosos proyectos de reducción de emisiones. Destacan Brasil y Chile.

Se desprende de esta información que Asia será el mayor oferente en el futuro y que China podría colocar una gran cantidad de CERs. Los proyectos de gases industriales pueden dominar el mercado dada su alto valor en TCO_{2e}.

País	CERs emitidos	%
Argentina	116.555	0,4%
Brasil	4.187.236	13,9%
Chile	982.566	3,3%
China	2.910.347	9,7%
Rep. De Corea	5.658.485	18,8%
Guatemala	162.551	0,5%
India	14.255.285	47,4%
Malasia	386.960	1,3%
Mexico	749.189	2,5%
Sri Lanka	120.371	0,4%
Otros	570.702	1,9%
Total	30.100.247	100%

Tabla 8: Emisión de CERs por país.

Fuente: UNFCCC, 5/02/2007

3.7. Financiamiento de un proyecto MDL

Se debe considerar algunas limitaciones en cuanto al financiamiento de los proyectos que deseen participar o calificar en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Las limitaciones están dadas principalmente por las fuentes de financiamiento del proyecto. Si se desea calificar como un MDL, este no puede ser desarrollado por alguna agencia internacional de financiamiento, como por ejemplo GTZ o FFEM. Solo pueden calificar aquellos proyectos con financiación mediante instrumentos nacionales de incentivo y financiamiento de inversiones.

En el caso de Chile, no existe ninguna limitante en la normativa del Protocolo de Kyoto que impida un proyecto calificar al MDL.

En el caso de financiamiento de alguna institución pública de países Anexo I, se requiere que dicha información sea detallada, incorporando al documento del proyecto un nexo que puntualice cada fuente de financiamiento para él mismo. Adicionalmente, el proyecto debe probar que dicha utilización de recursos no afectan los fondos de desarrollo que el país Anexo I ha comprometido para el desarrollo de sí mismo, y que es separado y o contabilizado como obligación financiera de dicho país.

3.8. Los créditos temporales

Los CERs temporales son aquellos de atribución de créditos válidos para una cierta cantidad definida de años. Este tiene hoy en día una gran defensa, ya que, provee flexibilidad al mecanismo, permitiendo el cambio de uso de la tierra una vez expirados el período de validez de los créditos, y a la vez reconociéndole a la reforestación los beneficios ambientales asociados al secuestro temporal de carbono (ONF Andina, 2002).

Es esta modalidad de CERs la que parece ser la más adecuada para la implementación de proyectos LULUCF en Chile, que pretendan participar del mercado del carbono.

El proceso para la aprobación de estos proyectos ha de seguir una serie de complicadas fases que corresponden a (Figura 8).

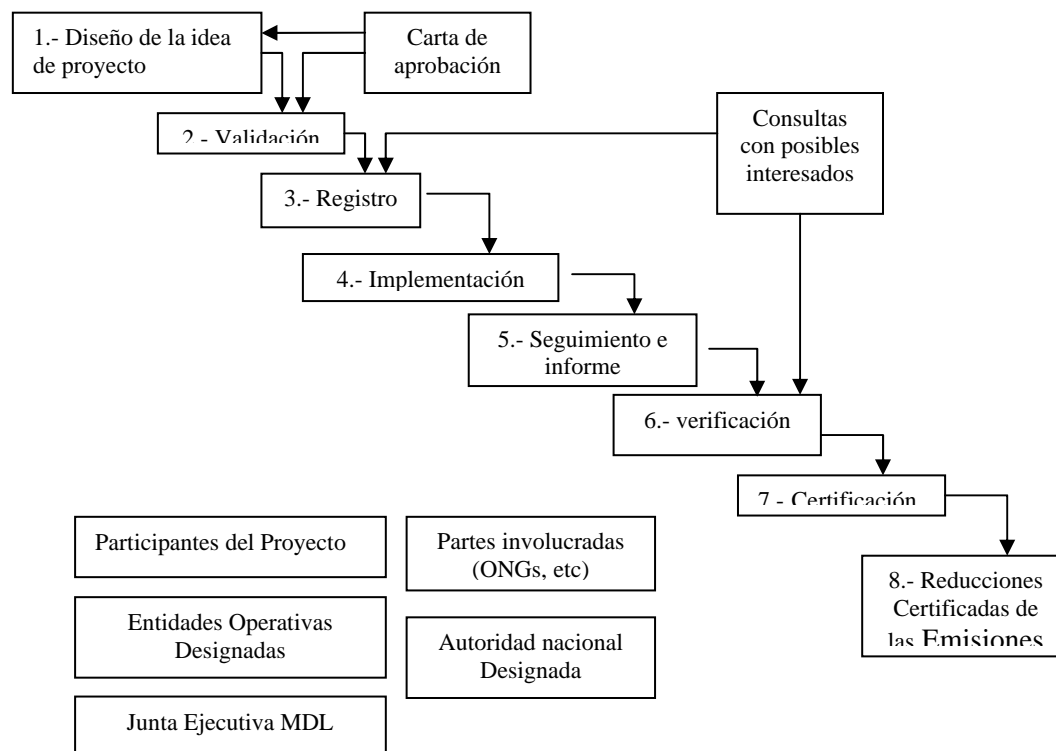


Figura 7: Fases para la aprobación de proyectos MDL
 Fuente: Urrutia, 2003.

3.9. Mecanismos financieros del Protocolo de Kyoto

El Protocolo de Kyoto ha definido mecanismos para hacer uso de los derechos obtenidos por la realización de proyectos de reducción de emisiones por parte de los países de anexo I. Estos países pueden utilizar estos mecanismos como promotores de proyectos, desarrollando directamente proyectos que puedan catalogarse dentro del Mecanismo de desarrollo limpio o de aplicación conjunta, y así obtener correspondientes créditos por la reducción de emisiones que genere el proyecto, o bien pueden comprar directamente los créditos generados por proyectos implantados por terceros en los mercados internacionales de carbono o comprando los créditos al promotor del proyecto.

3.9.1. Los fondos de carbono

Esta es otra modalidad para obtener créditos de carbono, empresas pequeñas y medianas pueden optar a los “fondos de carbono”. En esta opción es un tercero quien se encarga de la obtención de créditos diversificando el riesgo y no es necesario realizar un seguimiento ni de los proyectos ni de los mercados. Los fondos de carbono son instrumentos financieros o mercantiles de inversión colectiva o adquisición agrupada de CO₂, normalmente créditos obtenidos en los mecanismos de proyectos del Protocolo de Kioto, que dan derecho a un reparto del CO₂ en la parte proporcional a la inversión realizada.

3.9.2. Activos principales del mercado del carbono

El crecimiento en volumen y valor que experimentó el mercado durante el año 2008. Ha permitido que se siga realizando con normalidad el “Trading” (comprar-vender) de los activos tradicionales, sin embargo se ha visto como en el mercado se negocian otras nuevas “commodities” de CO₂ distintas. Podemos mencionar como nuevas formas de negociación a los derechos del PNAI (EUA 2005-07), los derechos del PNAII (EUA 2008-12), los derechos provenientes de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (CER o créditos) y finalmente los VER (derechos del mercado voluntario).

3.9.3. Derechos del PNA I

Este tipo de negociación llevo a que en el año 2008 el precio final de una tonelada de carbono fue de 0,01 €/tonelada. Esta situación permitió visualizar a los distintos actores de este tipo de mercado sobre la imposibilidad de asignar demasiados derechos a la industria, en un mercado donde se pretende dar la sensación de escasez. El sistema en si funciona muy bien y en el año 2006 las emisiones reales de las empresas industriales afectadas por el PNA se redujeron en un 3,2% respecto al año anterior.

En 2007, las mismas emisiones se incrementaron un 1% y su precio medio de venta fue de 0,69 €/ton. Se ha podido observar que el buen funcionamiento de este método dio como resultado que muchas empresas han implementado códigos de buenas prácticas, sistemas de control y gestión de emisiones y sobretodo, han realizado inversiones en los procesos productivos para producir “de manera más limpia”.

3.9.4. Derechos del PNA II

Este Otra “commodity” con el cual se ha negociado en Europa permitió que en el año 2008 se alcanzara un máximo histórico de 28.30 €/ton CO₂, con un mínimo de 13,72 €/ton CO₂.

Debido a la volatilidad de los precios de CO₂, (hoy se estima que es del 65%), el mercado del CO₂ resulta atractivo para los mercados financieros. Es el sector financiero quien hoy en día tiene una influencia importante en la constitución del precio del CO₂, se reconoce también que es este sector quién aporta mucha liquidez a este mercado, amortizando los precios cuando el sector energético no está activo, u ofreciendo precios vendedores cuando los sectores “vendedores” se salen del mercado. En definitiva es el sector financiero el que ha permitido crear un verdadero mercado de derivados del CO₂ con liquidez suficiente en futuros y opciones, herramientas necesarias para la cobertura del riesgo de grandes empresas industriales.

La European Climate Exchange, la bolsa de futuros y opciones de CO₂ más grande del mundo, tuvo un crecimiento de cerca del 50%: de 980 millones de toneladas negociadas en el 2007, pasó a 1.991 millones de toneladas en el 2008. Esto representa para el mercado, sólo en derivados de una bolsa, una cifra cercana a los 15 mil millones de euros. De hecho, el mercado en 2008 sufrió un incremento del 83% del volumen negociado, pese a que la economía mundial se encontraba en una situación de claro retroceso.

3.9.5. El mercado voluntario

Este activo, al contrario de los detallados anteriormente aún no tiene fuerza legal. Se trata de un mecanismo desarrollado por entidades privadas con intereses medio-ambientales.

Sin duda los grandes problemas que hay al desarrollar proyectos MDL, lo representan los costos de auditoria y fiscalización de las reducciones por parte de la única autoridad acreditada, que es la ONU. Un proyecto MDL se tarda en ser aprobado desde el momento que se inicia, unos 5 años. Existen algunos que ni siquiera llegan a ser aprobados por diversas razones, dentro de las cuales se pueden mencionar la falta de capacidad económica o por el hecho de ser un proyecto pequeño para las ambiciones de las Naciones Unidas.

Por ejemplo, la instalación de paneles solares en un edificio, contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Someter este proyecto a las Naciones Unidas, es un poco absurdo. Sin embargo, el hecho es que hay una reducción de emisiones reales; y si multiplicamos el efecto de este tipo de iniciativas por todo el mundo, la realidad es que las toneladas evitadas son mucho más de lo que parece.

En estos momentos se está desarrollando un modelo para los “Mini” proyectos MDL con la finalidad de crear un Standard (por ejemplo el Golden Standard) que impulse proyectos de pequeña envergadura.

3.10. Comercio de emisiones fuera del ámbito del protocolo de Kyoto

Estos acuerdos de comercio están referidos al compromiso de Estados y compañías para reducir las emisiones de GEI. En la actualidad funcionan con un alto grado de efectividad cinco esquemas de reducción de emisiones, estos son:

- United Kingdom Emission Trading Scheme (UK ETS)
- European Union Emission Trading Scheme (EU ETS)
- New South Wales Abatement Scheme (Australia)
- California Climate Change Register
- Chicago Climate Exchange (CCX)

3.10.1. Esquema de comercio de emisiones del Reino Unido (RU)

Este esquema de Comercio de Emisiones del RU se comenzó a utilizar en el año 2002, fue el primer esquema en el mundo de comercio a nivel nacional de emisiones de GEI entre industrias. Este esquema permitía que las compañías pudieran elegir entrar al sistema a través de una subasta como un participante directo con objetivos definidos, 34 fueron las empresas que optaron por esta modalidad o hacerlo mediante los Climate Change Levy Agreements (CCA). Finalmente fueron 40 los sectores industriales los que se beneficiaron con este esquema, los que fueron representados por un total de 6.000 empresas que efectivamente entraron de manera automática a los UK ETS. Se destaca en esta forma de comercio de emisiones que las compañías no necesariamente debían estar sujetas a un CCA para comerciar. Este esquema tuvo vigencia hasta Marzo de 2007.

3.10.2. Esquema de comercio de emisiones de la Unión Europea (UE)

Este esquema de Comercio de Emisiones de la UE comienza a funcionar en el año 2005. El esquema cuenta con dos fases, la primera funciona desde enero de 2005 hasta diciembre de 2007. La segunda fase comenzó a funcionar desde el año 2008 y tendrá una duración de cinco años, es decir estará en vigencia hasta el 2012. Este esquema en su primera fase, es de carácter obligatorio para sectores listados en Anexo I de la Directiva del Comercio de Emisiones 2003/87/EC. Hoy en el año 2011 más de la mitad de las emisiones de CO₂ en la UE están cubiertas por este esquema. Las instalaciones deben mantener el GEI permitido, de no cumplir con los requerimientos del esquema están sujetas a penalidades financieras. Este esquema está siendo replanteado con el fin de ser expandido y así pueda incluir gases diferentes al CO₂ y otros sectores.

Funcionamiento del EU ETS:

El EU ETS es un sistema de fijación de límites e intercambio de emisiones. Los Estados miembros de la UE definen su límite de emisión en el Plan Nacional de Asignación, el cual se basará sobre el número de permisos otorgados a las instalaciones incluidas en el esquema. De acuerdo al artículo 25 de la Directiva antes mencionada, pueden vincularse al EU ETS otros esquemas de comercio de emisiones de GEI de terceros países que hayan ratificado el Protocolo de Kyoto.

Aspectos Claves del Esquema:

- Cubrir el sector de energía y los sectores industriales intensivos - Responsables del 46% de emisiones europeas.
- La primera fase desde enero de 2005 a diciembre de 2007 es solo para CO₂, con la posibilidad de expansión y cubrir todos los GEI en la segunda fase (de enero de 2008 a diciembre de 2012).
- Los créditos derivados de la Implementación Conjunta (IC) y del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) pueden ser usados para cumplir los requerimientos en el EU ETS.

3.10.3. Esquema de Reducción de Nueva Gales del Sur (Australia)

En 2003, El Gobierno de Nueva Gales del Sur (NSW) introdujo un esquema de comercio de emisiones construido sobre un programa de emisiones existentes en conexión con el comercio minorista de electricidad.

El esquema requiere que los vendedores de electricidad al por menor reduzcan las emisiones de 8.65 a 7.27 toneladas de CO₂ equivalentes per capita. Este esquema cubre la totalidad de los seis GEI expresados como unidades de una tonelada de CO₂ (T CO₂e). Pueden alcanzar los niveles objetivo de emisiones pueden mediante compensación con créditos creados de energía renovable, de generación de baja emisión, plantación de árboles y eficiencia energética.

Quienes participen de este esquema serán monitoreados por la autoridad responsable de otorgamiento de licencias y también habrá una verificación independiente de créditos de secuestro de carbono, y además cada dos años se hace una auditoria de la metodología de secuestro de carbono.

El sistema operará con una penalidad financiera creciente, pero no más alta a U\$S 8.5 por tonelada excedida de CO₂ emitida.

3.10.4. Registro de Acción de Clima de California

El registro fue establecido como un registro voluntario sin fines de lucro para emisiones de GEI. El objetivo del registro es ayudar a compañías y organizaciones a establecer una línea de base de emisiones de GEI contra la cual se pueda aplicar en el futuro algún requerimiento de reducción de emisiones de GEI.

El registro cubre acciones voluntarias para incrementar la eficiencia energética y disminución de las emisiones de GEI. Tomando el año 1990 como año base los participantes pueden registrar su nivel de emisiones. El Estado de California, ofrece sus esfuerzos para asegurar que los participantes reciban una consideración apropiada por acciones tempranas en el evento de algún esquema regulatorio de GEI internacional, federal o estatal. Los participantes del Registro incluyen negocios, organizaciones sin fines de lucro, municipalidades, agencias estatales, y otras entidades.

El Registro ha desarrollado un Protocolo General y protocolos adicionales específicos por industria, los cuales guían sobre como inventariar las emisiones de GEI para

participar en el Registro, que medir, como, información requerida y certificación requerida. Cuando las organizaciones se convierten en participantes, ellos acuerdan registrar sus emisiones de GEI por todas las operaciones en California, y son incluidos en un reporte nacional. El registro requiere la inclusión de todas las emisiones directas de GEI, junto con las emisiones indirectas de GEI del uso de electricidad.

3.10.5. Chicago Climate Exchange, ® Inc. (CCX®)

Es un mercado de intercambio autorregulado, es el primer mercado multinacional y multisector para reducir y comerciar GEI del mundo. El CCX® representa el primer compromiso voluntario, legalmente constituido por corporaciones de una sección de América del Norte, municipalidades y otras instituciones para establecer reglas de mercado para reducir GEI. Sus transacciones se basan en proyectos.

CAPÍTULO 4: EDAD ÓPTIMA DE ROTACIÓN PARA UN DE RENOVAL DEL TIPO FORESTAL ROBLE-RAULÍ-COIGÜE

4.1. Descripción de la problemática actual del renoval

En el sur de Chile, entre las regiones octava y décimo cuarta, se encuentra una parte sustancial de bosques autóctonos chilenos, algunos en condiciones medianamente optimas para un manejo forestal planificado (ver Fig. 9 mapa Ro/Ra/Co). Aquí la fragmentación de los bosques, típica para la Zona Sur, no es tan pronunciada.

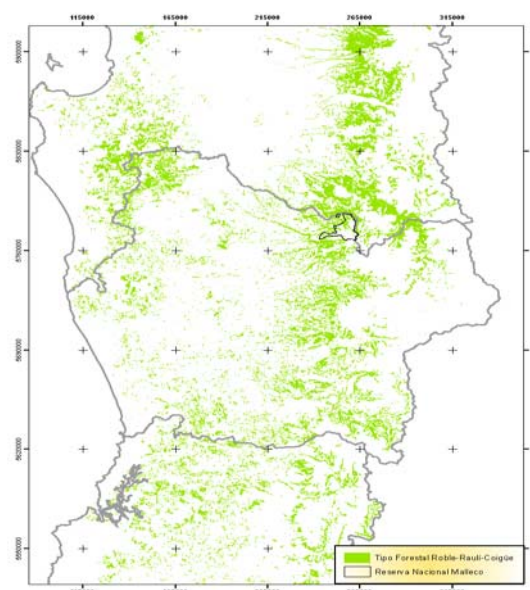


Figura 8: Tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe presente entre la séptima y décimo cuarta región de Chile

Con reciente aprobación de la ley de manejo del bosque nativo en Chile (año 2008), que persigue promover un manejo cuidadoso de los bosques naturales. Antes de esta ley, solo existía el marco legal de protección a este tipo de bosques.

La vida óptima de una masa forestal, o turno óptimo, puede definirse de muchas maneras. Así, puede entenderse por turno óptimo el que corresponde a la vida de la masa (criterio biológico), o aquél en el que se alcanza la máxima producción (utilizando conceptos habituales en la teoría de la producción, sería el máximo técnico), o aquel turno que se corresponda a la máxima productividad media de la masa forestal (mientras que en teoría de la producción se conoce como óptimo técnico, según la terminología forestal española a este turno se le llama el turno de máxima renta en especie, etc. Desde un punto de vista económico, el turno óptimo

suele definirse como la vida de la masa forestal que maximiza el valor actual neto (VAN) de la inversión subyacente (Díaz Balteiro, 1997).

Para un mejor análisis económico de un renoval del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, estos se consideran como poblaciones coetáneas. La baja variabilidad en su distribución de edades comparado con un bosque maduro del mismo u otro tipo forestal hace posible esta forma de análisis. Desde la perspectiva de la rentabilidad el problema económico de los recursos renovables del bosque, es llegar a determinar los intervalos óptimos de las cortas. En los últimos años este tema ha despertado el interés, la reflexión y el estudio de grandes economistas. Se plantean todo un conjunto complejo de costes, tipos de productividades, tasas de interés, precios de los bienes y de los servicios, alternativas de producción, incertidumbres, etc. El objetivo de este capítulo es determinar un turno de rotación que maximice el valor presente de los ingresos actuales y de los futuros ciclos de corta. Se valorizo la producción de madera de un bosque de Roble-raulí-Coigüe sometido a un tipo de manejo silvícola en particular, teniendo en cuenta los precios previstos de la madera, los costes de reforestación y de mantenimiento, la productividad, las tasas de crecimiento, el diámetro, la altura de las distintas especies y el tipo de interés del mercado.No obstante, todo manejo silvícola aplicable a estas especies debe partir del principio irrenunciable de conservar y mantener, en el tiempo, las distintas masas forestales. Este manejo es una solución de rendimiento sostenido que se consigue respetando las posibilidades de corta.

4.2. Desarrollo natural de los bosques de Roble-Raulí-Coigüe

Un bosque natural se regenera por hoyos de luz, y la fijación de carbono debido al crecimiento de los árboles jóvenes esta compensada por la emisión de carbono debido a la descomposición de los árboles muertos: un bosque natural adulto (sobre-maduro) tiene un balance carbono nulo.

Un bosque adulto tiene un ciclo de aproximadamente 210 años, y un crecimiento lineal, es decir que se pasa de un estado de desarrollo al otro en 35 años (contando 6 estado de desarrollo: $210/6 = 35$ años).

Las masas en crecimiento se ralean naturalmente: los árboles elegidos por la selección natural siguen creciendo, y los árboles sometidos paran de crecer. En un bosque de *Nothofagus*, los árboles no son tolerantes y no soportan ser sometidos, al final mueren en pie, caen al suelo y se descomponen.

4.3. Materiales

4.3.1. El área de estudio

La recolección de datos se realizó en la Reserva Nacional Malleco, IX Región de Chile, entre los años 1995 y 2000. Reserva dependiente de CONAF (Corporación Nacional Forestal), la cual se caracteriza por ser la unidad más antigua de Áreas Silvestres Protegidas, tanto del país como también de América Latina, pues data del año 1907. Se ubica a 75 Km, de Collipulli por la ruta a Pemehue y ocupa una superficie de 16.625 has de las cuales un 87% está cubierto de bosques de hojas caducas (Locatelli, 1999).

Sus coordenadas geográficas son 787.530; 5764984 sur y 789.916; 5775340 oeste (Ver figura 12), su altitud varía entre 425 a 1900 msnm. El clima se caracteriza como templado lluvioso con una precipitación del orden de 3000 mm y la humedad media anual es de 21°C, con una máxima de 28°C y una mínima de 15°C.

Como área de estudio fue considerada toda la reserva con un total de 16.625 has y la investigación fue orientada al desarrollo de un modelo de manejo sustentable del bosque nativo templado de Chile, en relación con el medio ambiente mundial (efecto invernadero). La reserva Malleco contiene cuatro de los doce tipos forestales de Chile (Ciprés de la Cordillera, Roble-Raulí-Coigüe, Coigüe-Raulí-Tepa y Araucaria) y además especies que presentan problemas de conservación, por lo que se aprecia como representativa de las presiones sufridas por los bosques nativos chilenos (Locatelli, 1999).

Con el fin de facilitar la estimación, y comparar dos condiciones forestales, se consideraron para el cálculo solamente los **cuarteles de producción** (cuarteles 1 a 5), de superficie 10.693,4 ha, lo cual corresponde a los 64% de la superficie completa de la Reserva. Los otros cuarteles corresponden a cuarteles de preservación y protección, dónde no se intervendrá.

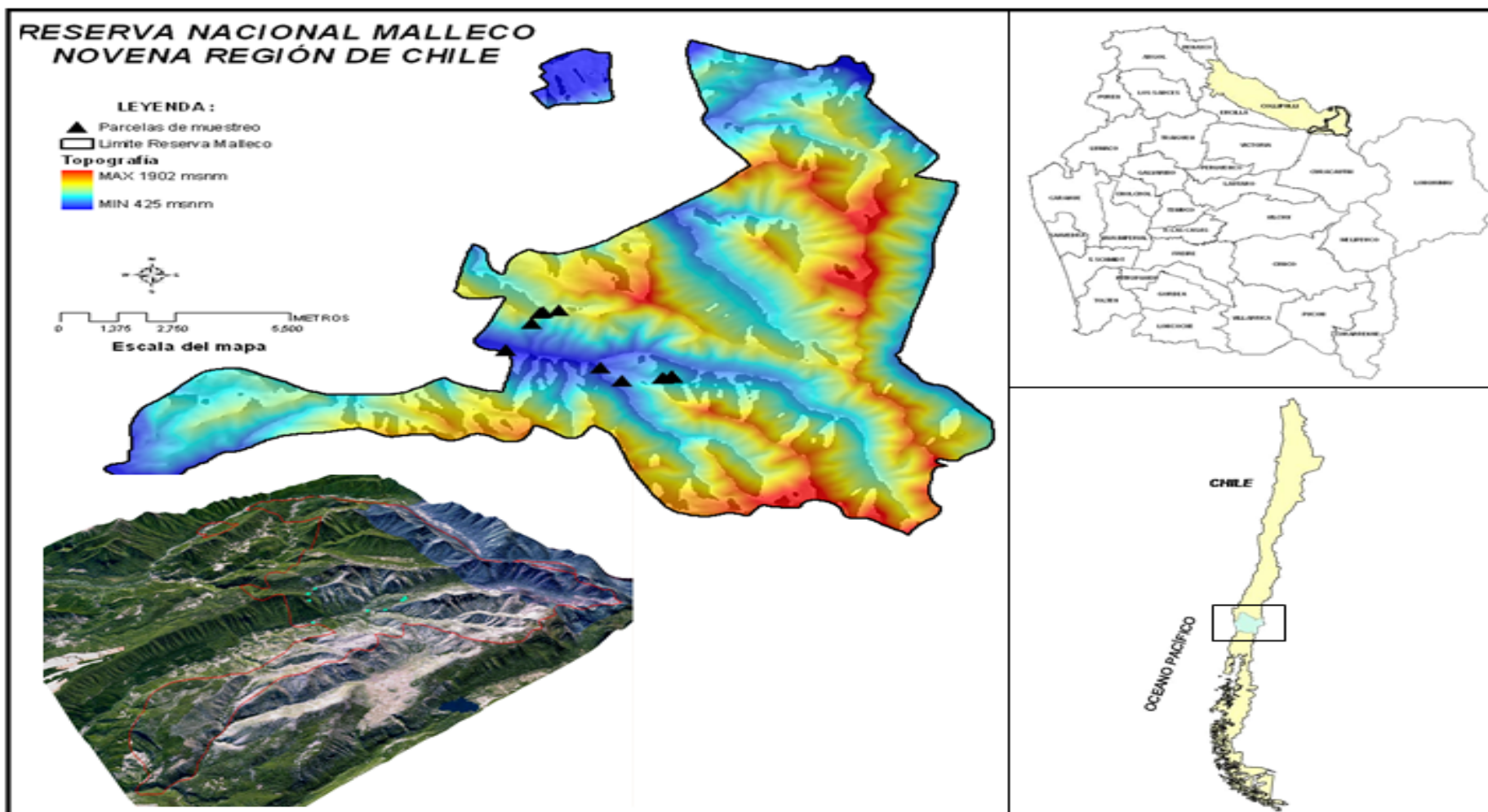


Figura 9. Ubicación de área de estudio.

4.3.2. Caracterización de los bosques de Roble-Raulí-Coigüe en la Reserva Nacional Malleco

Esta asociación cubre una superficie total de 8.648 ha, representa más del 50% de la superficie total de la reserva (Plan de ordenación de la R.N. Malleco 1997), su presencia o ausencia esta dada por:

- La topografía: exposición y altitud
- La dinámica: son especies pioneras y según las estaciones forestales consideradas la dinámica evoluciona hacia una estructura clímax de *Nothofagus* o una presencia de tolerantes que quizás terminará en un cambio de asociaciones.
- La presencia humana: se traduce en el floreo que dejó en pie casi únicamente a los Coigües sobremaduros, el fuego que detuvo la evolución y puso en marcha de nuevo una fase de colonización y el pastoreo que parece ser más dañino para la regeneración de Raulí que para la de Coigüe.

Existe una tipología definida para el tipo forestal en la reserva la cual se basa en los tipos definidos por Donoso (1980):

Roble puro de altitud (Roa): Corresponde a un ecotipo de altitud, con exposición norte, de poca altura y de baja calidad comercial. Se encuentra en asociación con Coigüe. Es a menudo muy denso, porque debido a su escaso valor comercial, fue floreado.

Roble–Raulí–Coigüe sin tolerantes: Fue un tipo explotado por la presencia de las mejores especies de Roble y Raulí. Además de la influencia fuerte de la topografía (Coigüe en sectores húmedos, Roble que sube más en exposición Norte, y Raulí que baja más en exposición sur) se notan más las consecuencias de las acciones antrópicas, es decir, una proporción fuerte de renovales (latizal/ fustal y Coigües sobremaduros en estado sanitario bastante malo).

Roble–Raulí–Coigüe con tolerantes: además de los Ro/Ra/Co, se encuentran lingue, tinea, olivillo, canelo, laurel, avellano, entre otras especies, en el dosel intermedio.

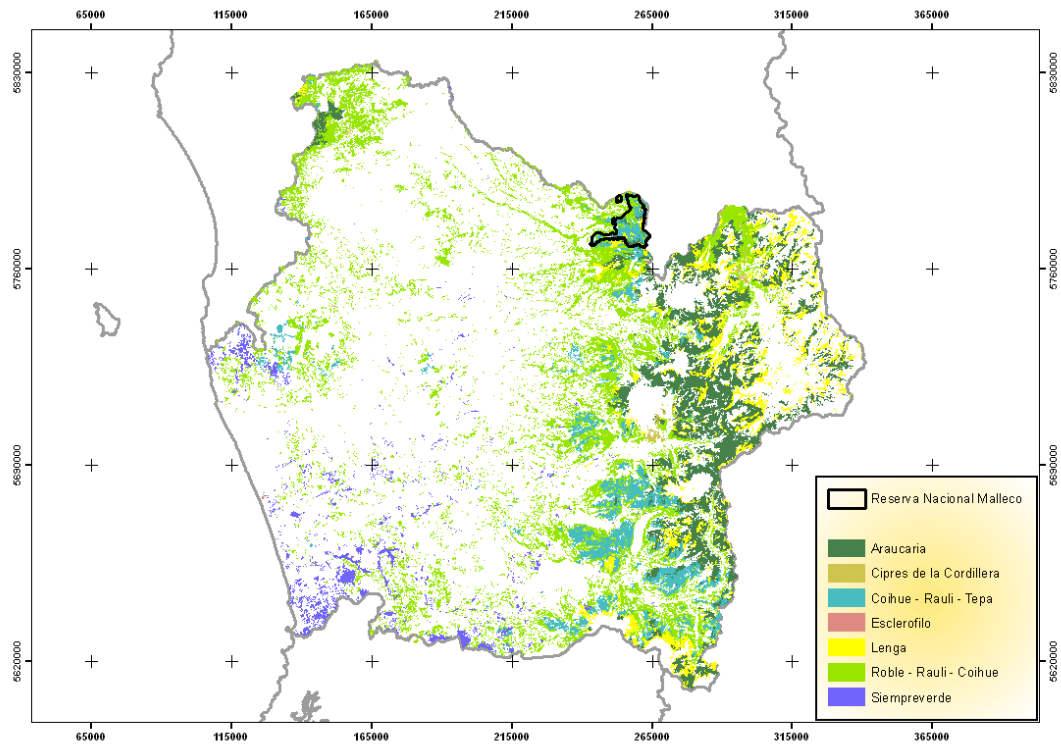


Figura 10: Distribución del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, dentro de la IX Región de la Araucanía y dentro de la Reserva.

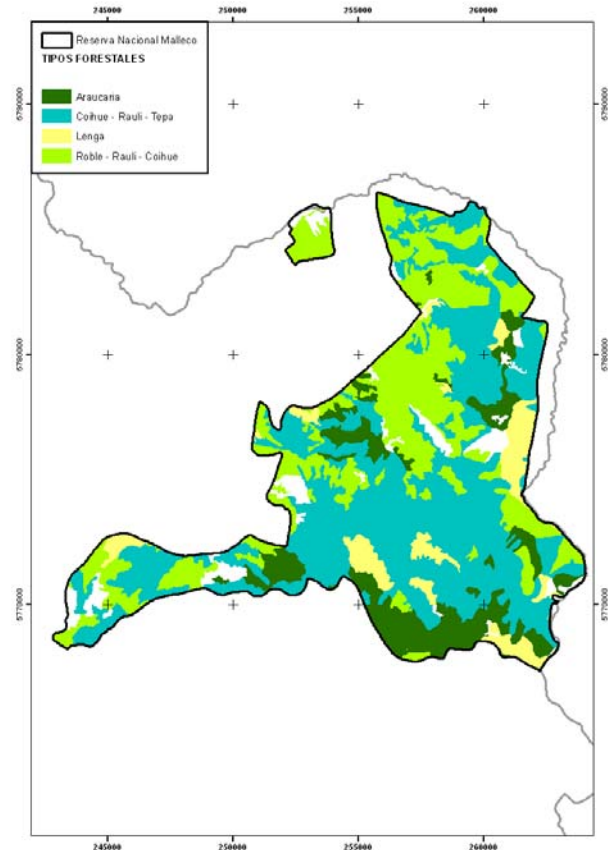


Figura 11: Distribución del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe, dentro de la Reserva.

4.4. Metodología

4.4.1. Forma de las parcelas

El levantamiento de datos se hizo estableciendo 23 zonas de inventario y en cada una de ellas se registraron 5 parcelas cuadradas, de lado 35m (Figura 16), con una superficie total de 1.225m². La ubicación de las parcelas fue en un transecto según la pendiente más fuerte. Se estableció una distancia entre los centros de las parcelas es de 70 m, de forma de evitar su traslape.

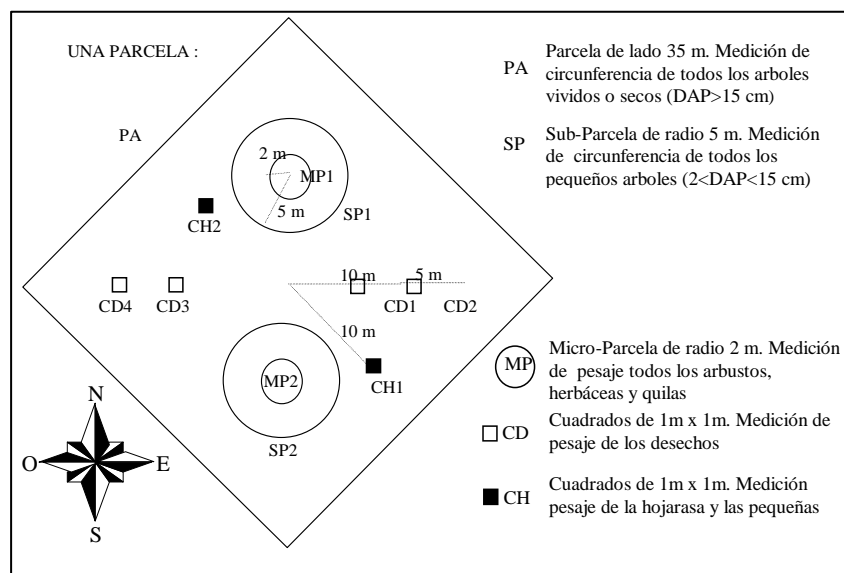


Figura 12: Forma de las parcelas.

Fuente: B. Locatelli – Rapport de la troisième mission courte d'appui – Septiembre 2000.

Se diseñaron formularios de terreno para realizar de forma sencilla el registro de información por parte de los equipos de trabajo de campo. En el centro de cada parcela se colocó una estaca con una cinta que llevaba la siguiente información mediante códigos pre-establecidos:

- Las parcelas: **SI.../PA1...5**, donde SI significa sitio de 1 a 23, PA parcela de 1 a 5.
- Las sub-parcelas: **SI.../PA 1...5/SP1...2**, donde SI significa sitio de 1 a 23, PA parcela de 1 a 5, SP sub-parcela de 1 a 2.

- Las mini-parcelas: **SI.../PA 1...5/MP1...2**, donde SI significa sitio de 1 a 23, PA parcela de 1 a 5, MP mini-parcela de 1 a 2.

4.4.2. Diseño y Ubicación de las parcelas

Si la superficie del rodal no era suficiente grande para permitir que se registren 5 parcelas, se acercaron las parcelas a 50 metros las unas de las otras, y si aún así no era suficiente, se corrió una o dos parcelas en un transecto paralelo, distanciando al otro de la misma distancia que entre las parcelas. Las parcelas están todas orientadas según la dirección Norte-Sur (diagonal del cuadrado N-S).

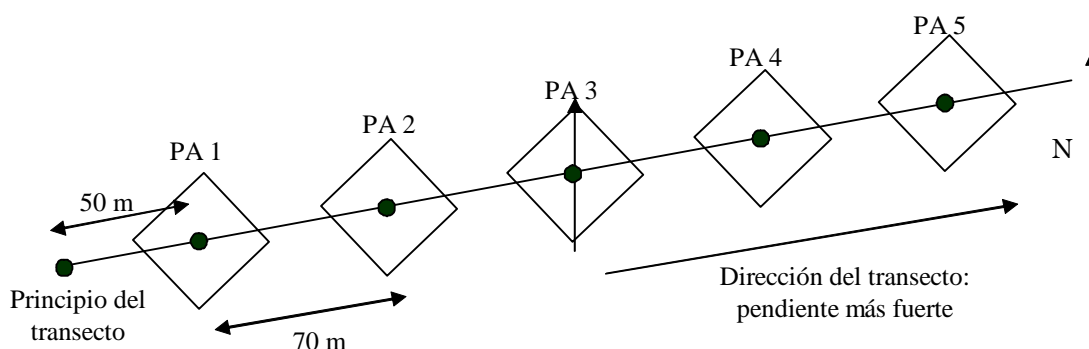


Figura 13: Diseño y ubicación de las parcelas.

Fuente: B. Locatelli – Rapport de la troisième mission courte d'appui – Septiembre 2000.

Los datos recogidos en cada parcela principal fueron el número de árboles, especies presentes, su estado sanitario y su forma, medición del DAP, la altura total y comercial.

4.4.3. Protocolo de medidas dasométricas en cada parcela.

El trabajo de terreno fue principalmente compuesto de:

- Medidas previas, (Dap, Altura).
- Limpieza de los sitios de caída de los árboles,
- Corta de los árboles de muestreo, recolección de las diferentes partes (ramas, hojas, tronco),
- Análisis de tallo del fuste,
- Pesaje de todas las partes aéreas de modo separado,

- Recolección de muestras de rodelas para análisis en un laboratorio del peso seco, de la densidad básica de la madera (relación entre peso seco y volumen).

4.4.4. Parcelas adicionales

Con el fin de corregir cualquier posibilidad de que el error de muestreo fuese muy grande, se recogió información de parcelas adicionales.

Estas parcelas adicionales se denominaron parcelas “bis”, su diseño es idéntico a las principales y están ubicadas según un transecto paralelo al otro, pegadas por la esquina (del lado Norte, Sur, Este y oeste, siguiendo la orientación del transecto), para no tener límites comunes. (Figura n°17).

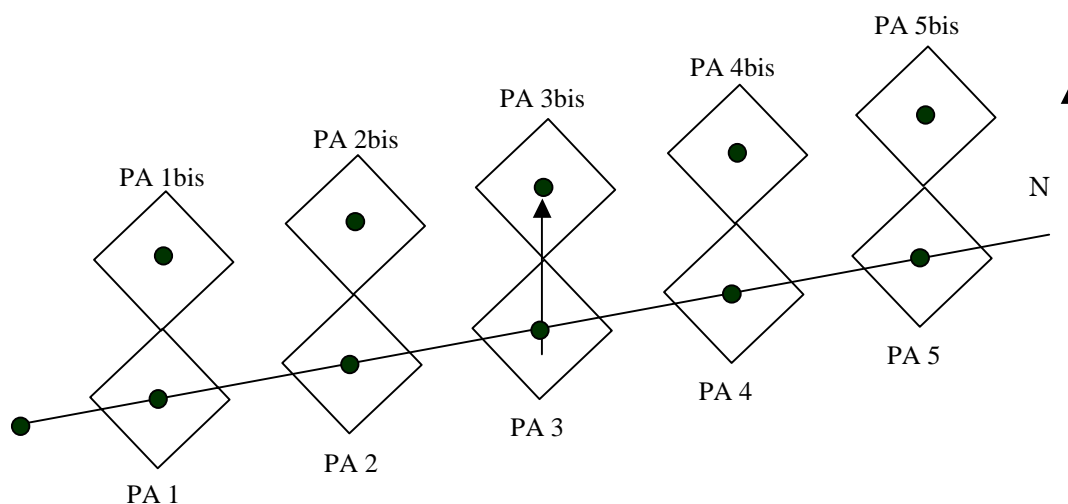


Figura 14: Ubicación de las parcelas “bis”.

Fuente: B. Locatelli – Rapport de la troisième mission courte d’appui – Septiembre 2000.

4.4.5. Cálculos de Volumen.

Los datos para el cálculo de volumen fueron proporcionados por la Oficina Regional de la CONAF, Región de la Araucanía, Temuco a partir de inventarios continuos realizados para proyecto de Cálculo de Dinámica de Carbono en Reserva Nacional Malleco. Las funciones utilizadas para este cálculo corresponden a las publicadas por Drake et al. 2003 (Tabla 9) para bosque nativo árbol completo y corresponden a las siguientes expresiones:

Especie	Estructura	Función
Arrayán	Bosque Adulto	$V = 0,0381 + 0,4731 * (dap/100)^2 * (-5,081 + 0,7704 h)$
Avellano	Sin información	$V = 0,0000799 + 0,000033318 * dap^2 h$
Coigüe	Bosque Adulto	$V = 0,00003544 + dap^2 h + 0,00015692 * dap^2$
Laurel	Sin información	$V = - 0,0000799 + 0,000033318 + dap^2 h$
Lingue	Bosque Adulto	$V = -0,041488 + 0,000448 * dap^2 + 0,003063 h$
Nirre	Bosque Adulto	$V = (dap/100)^2 * (-2,96307 + 0,4779 h)$
Olivillo	Bosque Adulto	$V = 0,00003915 * dap^2 h + 0,0000802 * dap^2$
Radal	Sin información	$V = 0,007019 + 0,00002229 * dap^3$
Raúlí	Renoval	$V = 0,0000351 * dap^2 h + 0,0002135 * dap^2 + 0,007392 * h - 0,08867$
Roble	Renoval	$V = -0,20643883 + 0,000033279 * dap^2 h$
Tepa	Sin información	$V = 0,01270452 + 0,000031284 * dap^2 h$
Tineo	Bosque Adulto	$V = -0,1052 + 0,00004606 * dap^2 h + 0,0001776 * dap^2 + 0,0002609 * h$
Trevo	Bosque Adulto	$V = 0,00005084 * dap^2 h + 0,000000468 * dap^2 h^2$

Tabla 9. Funciones de volumen árbol completo
Fuente: Drake, F. Emanuelli, P. Acuña, E. 2003.

4.4.6. Determinación de los Turnos óptimos

Samuelson (1976) es el primer economista que apuntó acertadamente después de muchas controversias que la formulación correcta del turno óptimo es la sugerida por el forestal alemán Fausmann en 1849. En esta formula se considera un infinita cadena de ciclos de corta, lo cual deja de forma implícita la consideración de un coste de renta de la tierra.

$$VAN = [I(t)e^{-it} - K] (1 + e^{-it} + e^{-2it} + \dots) \quad (1)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto de la inversión (€/ha).

$I(t)$ = Ingreso obtenido por la corta y venta de masa forestal a los (t) años.

i = Tasa de descuento.

K = Coste de plantación.

Al sumar los términos encerrados en el segundo paréntesis de (1), se obtiene que:

$$VAN = [I(t)e^{-it} - K] (1 + e^{-it})^{-1} \quad (2)$$

El resultado es la fórmula (2) la cual es conocida en la literatura como fórmula de Faustmann.

A esta fórmula de Faustmann se le pueden incluir otras componentes como gastos anuales, subvenciones, ingresos por concepto de claras. De esta manera para cálculo de turnos óptimos sin ningún tipo de subvención la fórmula (1) se convierte en:

$$VAN = \left[I(t)e^{-it} + \sum_{\forall I} C_I e^{-iI} - K - Gi^{-1}(1 - e^{-it}) - \sum_{\forall S} Y_s e^{-is} \right] \quad (3)$$

$$(1 - e^{-it})^{-1} \quad I = I_1, I_2, \dots \quad s = s_1, s_2, \dots$$

Donde:

G = Representa los pagos anuales de explotación.

C_I = Cobros derivados de las claras.

Y_s = Pagos derivados de los trabajos silvícola.

I₁, I₂, ... = Representan los años elegidos para realizar las claras.

s₁, s₂, ... = Representan los años en que se realizan actividades silvícola.

Es la formula (3) la que en definitiva nos permitirá determinar el turno y rentabilidad del tipo forestal en estudio. Cabe destacar que en este calculo no se contemplan como ingreso las bonificaciones por manejo de bosque nativo chileno contempladas en la Ley N° 20.283 “Ley Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal” del 02 de Julio del 2008.

Para la estimación del turno óptimo considerando las bonificaciones de esta ley correspondiente al manejo de bosques nativos, como también las contempladas en el Decreto Ley 701 de Fomento Forestal, referentes a la reforestación con especies nativas, recurriremos a la adaptación que realizo a esta formula Díaz Balteiro (1995). Donde considero subvenciones contempladas en el Real Decreto 378/93 en España. Así tenemos que:

VAN=

$$\left[I(t)e^{-it} + \sum_{\forall t} C_t e^{-it} + P_m i^{-1} (e^{-i} - e^{-in_1}) + P_c i^{-1} (e^{-i} - e^{-in_2}) + K_l - K - Gi^{-1} (1 - e^{-it}) - \sum_{\forall s} Y_s e^{-is} \right] (1 - e^{-it})^{-1}$$

Donoso y Lara (1999) dicen que de los diversos análisis que se han realizado sobre la rentabilidad del manejo de los renovales de Roble-Raulí-Coigüe se concluye que a un nivel general corresponde a una actividad rentable. Esta dependerá de la distancia a los mercados y a la disponibilidad y calidad de la red caminera.

Distinto es cuando se debe generar un bosque de roble, raulí o coigüe en situaciones de bosque remanente viejo degradado. Aquí el control de malezas para proyectar plantaciones y/o regeneración natural de *Nothofagus*, el anillamiento o extracción de la generación arbórea anterior, los clareos y eventuales podas son actividades de alto costo que, según Donoso y Lara (1999), sólo a través de las bonificaciones que cubran al menos el 75% de los costos de las actividades mencionadas se puede lograr rentabilidades con una TIR sobre 10%.

4.5. RESULTADOS

4.5.1 Estado dasométrico del bosque.

El renewal de Roble – Raulí - Coigüe de la Reserva Nacional Malleco tiene una edad promedio de 45 años. Su edad de establecimiento o de iniciación del renewal fue de 12 años. Como resultado de la evaluación dasométrica de los rodales se obtuvo una tabla de rodal promedio de los bosques estudiados (Tabla 12).

Centro de Clase de DAP (cm)	Centro de Clase de Altura Total (m)									Total
	3	5	7	9	11	13	15	17	19	
5		1	2	6	1					10
10	19	208	365	588	41	2		1		1224
15	5	132	433	745	162	15	1		1	1494
20		21	185	255	154	20				635
25	1	3	105	138	113	22	3			385
30		2	49	86	73	27	4	1	1	243
35		1	23	44	47	23	6			144
40			13	27	22	20	5	3	1	91
45				16	19	18	10	1		64
50			2	12	17	10	1	11		53
55			4	3	3	7	3	5	1	26
60				5	6	9	4	4		28
65			1	2	5	10		3	1	22
70						5	2	3	2	12
75				1	1	3	2			7
80		1			2	4		1	1	9
85					1	2	1	1	1	6
90						2				2
95					1	1				2
100					2					2
105				1	1					2
110				1						1
115						1				1
120						1				1
Total	25	369	1182	1930	671	202	42	34	9	4464

Tabla 10: Tabla de rodal y existencia por clase de dap (cm) y altura (m).

El estado de este renoval sugiere la necesidad inmediata de un manejo forestal con el fin de lograr su máximo en secuestro de carbono y una buena calidad de madera aserrable.

Estadísticos	Datos de Ajuste y Validación		
	Dap (cm)	Htot (m)	Volumen m ³
Media	34,00	15,00	0,1177
Mínimo	10,00	5,00	0,013
Máximo	232,00	25,00	42,24

Tabla 11. Estadística descriptiva para muestra de ajuste y validación del diámetro a la altura del pecho (cm), la altura total (m) y el volumen por árbol (m³).

El histograma de frecuencias diamétricas muestra una curva de “J” invertida (Figura 19). Esta curva es típica de renovales jóvenes. Debemos destacar que esta característica se puede deber a la buena calidad de sitio.

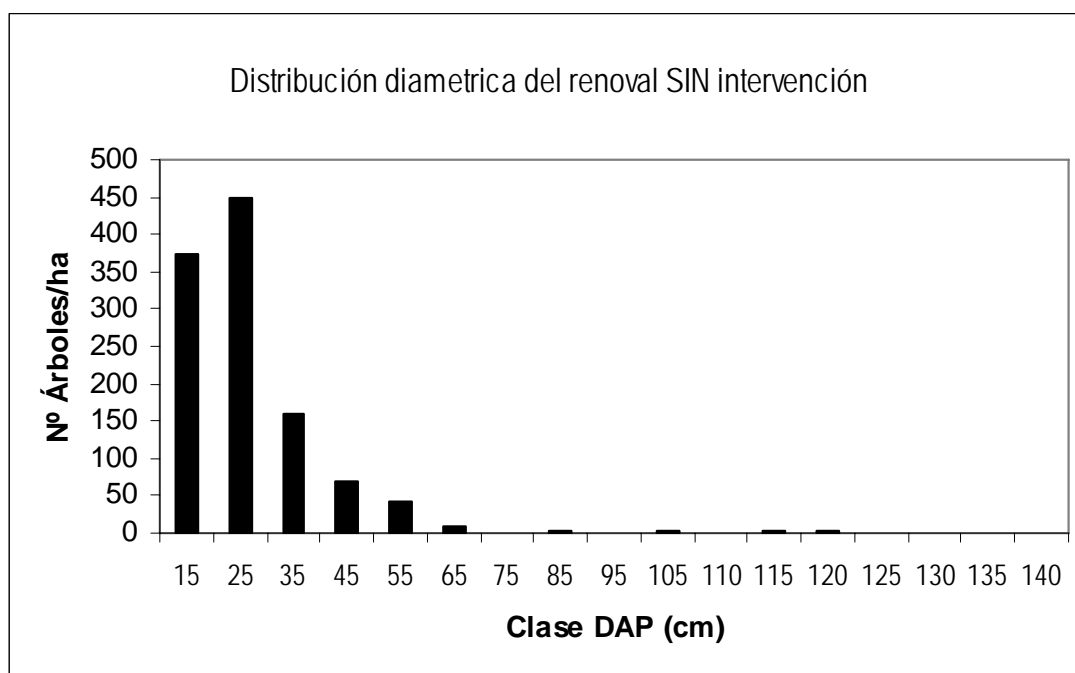


Figura 15: Distribuciones diamétricas del renoval.

Este esquema contempla llevar a cabo una selección de los árboles de mejores características del rodal junto con árboles secundarios. Los árboles que no sean seleccionados serán extraídos del rodal.

Los individuos seleccionados son los de mejores características en un espacio reducido. El criterio usado en renovales con árboles reproducidos de tocón (monte bajo o medio), se marcará como residual el mejor individuo de cada tocón. Del mismo modo en rodales muy densos, el criterio de corta será eliminar todos los pies de un tocón, siempre que no se dejen claros y que se cumpla con la densidad mínima señalada en Tabla 12. En la selección de individuos se privilegiarán los árboles semilleros.

La protección del sitio del rodal es el importante papel que desempeñan los árboles secundarios, por lo que los árboles seleccionados corresponden los individuos del dosel dominante, codominante o intermedio de roble, raulí, o coigüe de una calidad inferior y los individuos de especies tolerantes y semitolerantes que se desarrollan bien bajo el dosel.

Los árboles selección deberán marcarse con una franja a nivel del DAP y una marca en forma de punto en la base del árbol. Los árboles secundarios deberán marcarse con un punto a nivel del DAP y uno en la base. Todas las marcas deberán realizarse en el mismo sentido.

Criterio de densidad mínima a dejar según norma de manejo de CONAF.

DMC	Densidad mínima	Cantidad mínima a dejar		
(cm)	(N° árb/ha)	Total	Árboles Selección	Árboles Secundarios
5 – 9,9	2.820	1.842	602	1.240
10 – 14,9	1.842	1.203	483	720
15 – 19,9	1.203	786	387	399
20 – 24,9	786	513	310	203
25 – 29,9	513	332	249	83
30 - 35,0	332	250	200	50

Tabla 12: Criterio densidad de corta norma de manejo RoRaCo (CONAF)

4.5.2. Esquema de manejo propuesto “Corta selectiva” (Método Francés).

Este método consiste en la remoción del arbolado más grande y viejo (es decir, aquellos que van alcanzando el turno), ya sea en forma individual o por grupos pequeños, a intervalos constantes, repetidos indefinidamente, con el objeto de permitir la regeneración continua y mantener el estado multietáneo de las masas.

La corta de los árboles se realiza eliminándolos aisladamente o en pequeños grupos, pero nunca es talado el rodal completo, y la repoblación se establece en los pequeños claros dejados por los árboles extraídos. Teóricamente cada año se corta la clase de edad

más vieja. Naturalmente que los árboles de todas las clases de edad se encuentran dispersos en toda el área que ocupa el rodal, y cuando se quiere cosechar los árboles de la clase mayor, se requiere localizarlos en toda el área.

Este tipo de “corta de selección” conduce a las masas a ser multietáneas, con árboles de todas las clases de edad ya que el periodo de regeneración es siempre continuo.

En cuanto al número de cortas e intensidad, este está dado por una serie de cortas indefinidas y la intensidad va de acuerdo a la recuperación del bosque. Normalmente va de 20 a 35 % del área basal del bosque.

Consideraciones para la aplicación de este método de cosecha.

- Este método se aplica en bosques multietáneos.
- Se aplica a especies tolerantes.
- Áreas forestales con fuertes pendientes.
- También es utilizado cuando las condiciones de mercado no permiten cortar árboles de pequeñas dimensiones.
- Se aplica en condiciones topográficas muy accidentadas, donde se requiere proteger al suelo contra la erosión.

Ventajas del método

- Ofrece un elevado grado de protección al suelo, así como a la regeneración natural, principalmente contra la acción del frío, del viento y de los rayos solares.
- Debido a la mezcla de clases de edad, el bosque es más resistente al ataque de plagas, por lo que se reduce los riesgos de plagas.
- Así mismos se reduce el riesgo de incendios, al conservar mayor humedad en el suelo y el ambiente, y a que el material combustible está siempre a la sombra.
- Se puede aplicar en forma extensiva en aquellas regiones con mercados que exigen productos de grandes dimensiones.
- No altera significativamente la belleza escénica del lugar.
- Debido a la abundancia de árboles, la reproducción es más segura.
- Proporciona hábitat más favorable para la fauna silvestre.
- Es la única alternativa de asegurar una producción anual sostenida en propiedades muy pequeñas.

- Es mejor desde un punto de vista estético debido a su heterogeneidad estructural.
- Es el método que menos altera las condiciones ecológicas y de biodiversidad del sitio.
- Por las razones anteriores, este método es muy usado en bosques de protección, como parques.

Desventajas del método

- Debido a la mezcla de edades es difícil evitar daños a la regeneración natural y al arbolado residual (que queda en pie) al hacer las operaciones de tala y de extracción.
- Tiene una fuerte tendencia a degenerar la masa forestal, principalmente cuando se extraen los mejores árboles.
- Los costos de extracción y transporte son más altos que en los métodos anteriores, debido a que los árboles cosechados se encuentran diseminados en un área relativamente grande. Por lo que puede resultar antieconómico.
- La madera producida resulta de calidad inferior que la proveniente de masas coetáneas, ya que es más nudosa.
- Se requiere de una mayor capacidad técnica por parte del personal responsable de su ejecución.

Variantes o modalidades del método

Debido a que puede resultar antieconómico recorrer cada año todo el bosque para talar y extraer aquellos árboles que hayan alcanzado el turno, una alternativa al método de selección individual o árboles aislados, es el método de selección en grupos o por grupos de bosquetes.

4.5.3. Evaluación económica del método de manejo utilizado

Para la evaluación económica del esquema de manejo utilizado se consideraron dos objetivos específicos para el aprovechamiento productivo de madera y corrección de la masa forestal para aumentar su capacidad de captura de carbono. También se evaluó la mejor alternativa de manejo posterior a la primera cosecha determinándose un horizonte de planificación de 20 años, considerando la edad y situación actual del bosque.

La primera parte de la evaluación consideró la condición actual del renewal en pié, es decir sin manejo alguno y los proyecto hacia un DMC objetivo (Diámetro medio cuadrático) utilizando el simulador NOTHO^{Note1.}, el cual simula y proyecta crecimientos de variables altura, área basal, diámetro a la altura del pecho (DAP) y Volumen para renovales *Nothofagus* sp.

Se incorpora también al simulador el método de cosecha hasta la edad de cosecha para finalmente calcular la productividad de cada uno, en términos de productos madereros extraíbles.

El objetivo de esta etapa de la investigación fue establecer la situación base para un manejo dirigido al óptimo de producción de madera para un posterior análisis del turno óptimo considerando captura de carbono y biodiversidad.

**ACTIVIDADES Y COSTOS ASOCIADOS A MANEJO DE
RENOVALES DE ROBLE-RAULÍ-COIGÜE**

Egresos Establecimiento

Costo asociado		
Roce mecanizado	515	€/ ha
Plantación	588	€/ ha
Plantas	382	€/ ha (1300 pltas/ha)
Taseo o despeje	221	€/ ha
Control de maleza	66	€/ ha
Plan de Manejo	103	€
Mantenición de camino	74	€/ ha
Alcantarillas	15	€/ ha
Costos anuales	35	€/ ha/año

Ingresos Cosecha Forestal

Producto		
Trozo	1	€/ pulgada
Metro ruma	18	€/ metro ruma
Leña	12	€/ metro cúbico
Bonificación/menejo bosque nativo	779	€/ ha
Bonificación reforestación especies nativas	839	€/ ha
Tasa de descuento	7%	
Precio tonelada de Carbono fijado	14	€/ ha
Precio biodiversidad		€/ ha

Tabla 13: Costos Asociados al manejo de renovales de Roble-Raulí-Coigüe.

Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar la metodología expuesta y considerando como objetivo principal para este capítulo la determinación de turno óptimo productivo que permita la regeneración natural del bosque, definiendo este escenario como los resultados sin subvenciones o

bonificación alguna y regenerando el bosque de manera artificial, definiendo este escenario como óptimo de rotación considerando subvenciones.

Es de esta forma como se obtuvieron resultados de turnos óptimos considerando un renoval de Roble-Raulí y Coigüe sin manejo silvícola y sin ningún tipo de subvención y turnos óptimos para un renoval manejado y con subvención por actividades silvícola y reforestación luego de cortas.

Los costes asociados de plantación, manejo y cosecha suponen un bosque nativo de establecimiento natural para efectos de cálculo de resultados del sistema de manejo propuesto.

Los gastos de plantación se refieren a reforestación con especies nativas, obligación estipulada en decreto Ley 701, este marco legal y normas de manejo que consideran un plan de manejo que la Cooperación Nacional Forestal (CONAF) exige al propietario para poder explotar un bosque. En dicho plan se describe el bosque, se precisa el volumen que debe explotarse y se indica el método silvicultural de regeneración.

Las subvenciones consideradas para los cálculos de óptimo de rotación son las que se encuentran vigentes en Chile al año 2011, debemos aclarar que sus montos dependen del tipo de intervención y superficie a intervenir.

Este estudio nos acerca aún más a un verdadero aprovechamiento del potencial productivo de los bosques nativos, el mal uso de este tipo de bosques en Chile lo llevaría a su destrucción paulatina y a la disminución de su extensión.

Para aprovechar el potencial productivo del bosque natural, es preciso junto con explotarlo, transformarlo en un bosque de producción económica y proceder a manejarlo en consideración de otros beneficios indirectos que este nos pueda entregar. Esto implica no sólo definir un tratamiento silvicultural apropiado, sino que también crear condiciones generales nos permitan su uso integral.

En este sentido, es el Estado el que tiene un papel decisivo, ya que para el propietario la extracción de madera, el destinar la tierra a otros usos, el reemplazo del bosque nativo por plantaciones, incluso el abandono del bosque sin uso, son actualmente alternativas más rentables que el manejo forestal.

Para la Reserva Malleco se ha diseñado un Plan de Ordenación que contempla tres intervenciones, dos intermedias a los 45 y 65 años y una cosecha final a los 80 años. De estas intervenciones en el año 2002 se ejecuto la 1° corta. El diseño del manejo tuvo como objetivo principal el orientar el bosque hacia su recuperación y aumentar sus posibilidades de prestación de servicios ambientales, para este efecto se diseño un manejo basado en un Diámetro medio cuadrático objetivo (DMC).

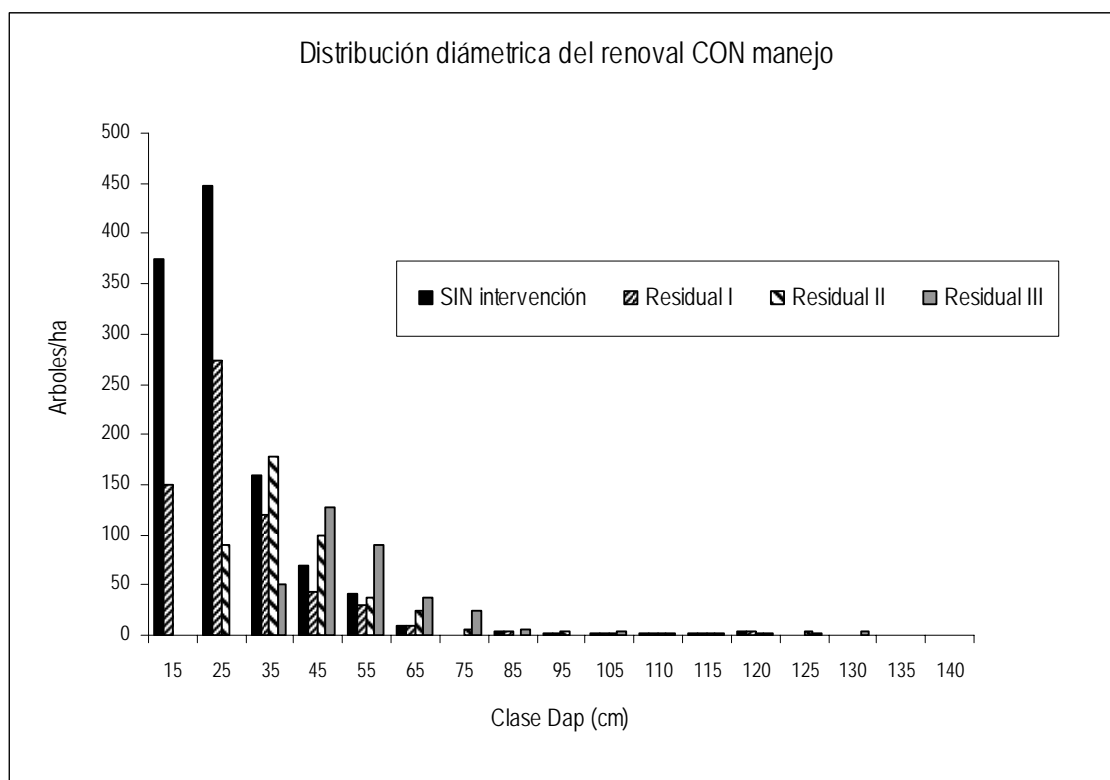


Figura 16: Distribución diamétrica del renoval con manejo.

A través del análisis del gráfico de distribución diamétrica, se puede ver claramente que antes de la intervención silvícola, existe un mayor número de individuos concentrados en las clases diamétricas medias a menores. Sin embargo, esto varía una vez aplicado el método de manejo de corta selectiva el cual nos ha permitido redireccionar el crecimiento del bosque hacia diámetros óptimos productivos y con características ideales para su crecimiento en biomasa aérea con fines de servicios complementarios del bosque.

Con la intervención silvícola realizada, se efectuó un cambio en la estructura del rodal, pasando de una distribución asimétrica positiva con tendencia a la normalidad a una distribución más cercana aún a la normal.

Los resultados generados de este análisis se muestran en las Tablas 24, 25 y 26. Los precios de los productos extraíbles del bosque están considerados puestos a orilla de camino. La inversión en un bosque adulto solo resulta rentable si se corta con un método silvicultural que elimine los árboles más viejos y permita dirigir la masa a una regeneración natural con objetivo productivo o como proveedor de algún bien ambiental.

BOSQUE RENOVAL SIN BONIFICACIÓN
 Turnos y Renabilidad Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe

Turno (años)	Vol. Total (m3/ha)	Extracción (m3/ha)	VAN (€/ha)	TIR (%)
35	375,51	112,65	494,9	14
36	393,94	118,18	495,8	14
37	412,36	123,71	496,0	14
38	430,79	129,24	495,6	14
39	449,22	134,77	494,6	14
40	467,65	140,29	493,1	14
41	486,08	145,82	491,1	14
42	504,50	151,35	488,9	14
43	522,93	156,88	486,3	14
44	541,36	162,41	483,4	14
45	559,79	167,94	480,4	14
46	617,79	185,34	588,3	14
47	675,79	202,74	572,7	14
48	733,79	220,14	558,1	14
49	791,79	237,54	544,5	14
50	849,79	254,94	531,8	14
51	907,79	272,34	540,0	14
52	965,79	289,74	527,6	14
53	1023,79	307,14	515,9	14
54	1081,79	324,54	505,1	14
55	678,94	203,68	489,9	14

Tabla 14: Turno óptimo de renoval manejado SIN bonificación.

BOSQUE RENOVAL CON BONIFICACIÓN REFORESTACIÓN DL 701
 Turnos y Renabilidad Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe

Turno (años)	Vol. Total (m3/ha)	Extracción (m3/ha)	VAN (€ha)	TIR (%)
35	375,51	112,65	483,9	14
36	393,94	118,18	479,5	14
37	412,36	123,71	475,5	14
38	430,79	129,24	471,2	14
39	449,22	134,77	466,6	14
40	467,65	140,29	461,7	14
41	486,08	145,82	456,6	14
42	504,50	151,35	451,3	14
43	522,93	156,88	445,9	14
44	541,36	162,41	440,5	14
45	559,79	167,94	435,0	14
46	617,79	185,34	540,6	14
47	675,79	202,74	522,9	14
48	733,79	220,14	506,4	14
49	791,79	237,54	490,9	14
50	849,79	254,94	476,5	14
51	907,79	272,34	483,1	14
52	965,79	289,74	469,1	14
53	1023,79	307,14	456,1	14
54	1081,79	324,54	443,9	14
55	678,94	203,68	427,5	14

Tabla 15: Turno óptimo de renoval manejado CON bonificación por reforestación DL 701.

BOSQUE RENOVALCON BONIFICACIÓN LEY DE BOSQUE NATIVO
 Turnos y Renabilidad Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe

Turno (años)	Vol. Total (m3/ha)	Extracción (m3/ha)	VAN (€ha)	TIR (%)
35	375,51	112,65	522,1	14
36	393,94	118,18	518,1	14
37	412,36	123,71	513,6	14
38	430,79	129,24	508,8	14
39	449,22	134,77	503,8	14
40	467,65	140,29	498,4	14
41	486,08	145,82	493,0	14
42	504,50	151,35	487,4	14
43	522,93	156,88	481,7	14
44	541,36	162,41	475,9	14
45	559,79	167,94	470,1	14
46	617,79	185,34	575,5	14
47	675,79	202,74	557,5	14
48	733,79	220,14	540,8	14
49	791,79	237,54	525,1	14
50	849,79	254,94	510,4	14
51	907,79	272,34	516,8	14
52	965,79	289,74	502,7	14
53	1023,79	307,14	489,5	14
54	1081,79	324,54	477,2	14
55	678,94	203,68	469,6	14

Tabla 16: Turno óptimo de renoval manejado CON bonificación Ley 20.283 de manejo de bosque nativo.

En este capítulo los cálculos se han realizado considerando tres escenarios dentro del manejo propuesto, uno es la rentabilidad sin bonificación alguna (Tabla 26), dos la rentabilidad considerando una bonificación por reforestación con especies nativas (Tabla 27) y tres la rentabilidad considerando el pago de una bonificación por manejo de bosques nativos (Tabla 28).

La tasa de descuento financiera es aceptable, considerando que para las empresas forestales hoy en día trabajar con el 14% es bueno y llegar al 18% sería lo óptimo, esto nos indica que a pesar de sus altos costos de intervención y cosecha este tipo forestal es viable.

En un contexto de bonificaciones, las rentabilidades tanto absolutas como relativas suben considerablemente, indicándonos con esto que la inversión es viable (VAN positivo y TIR superior a la tasa de descuento) indistintamente la tasa de descuento. El turno óptimo ha quedado establecido para el año 46 en todos los escenarios, con y sin bonificación. Si bien es cierto la inversión en estos bosques es viable, lo sería aún más si manejamos este tipo forestal a una edad más temprana.

La consideración de bonificaciones convierte el manejo de renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe en un aprovechamiento productivo con respecto a productos forestales tradicionales. No obstante, su atractivo económico aún es muy inferior al de las especies de crecimiento rápido, como sucede con el *Eucalyptus globulus*. Sin duda las bonificaciones al manejo forestal de bosques nativos en Chile son las que harán posible obtener una rentabilidad más alta que les permita competir en términos financieros con usos agrícolas alternativos y especies de crecimiento rápido o medio.

4.6. CONCLUSIONES

El manejo de bosques nativos en Chile, resulta ser una inversión atractiva, no solo por alto potencial económico de la calidad de su madera, desde el punto de vista financiero. Sino que también de su alta capacidad para desarrollarse ante un buen manejo y así ofrecer otras alternativas de servicio no maderable.

En la situación actual del renoval en estudio, las consideraciones en bonificación estatales mejoran medianamente la rentabilidad. Debemos tener en cuenta que si este bosque se hubiera intervenido a edad temprana para lograr su óptimo productivo, la rentabilidad sería mayor, lo que sin duda acortaría sus turnos.

Si consideramos las bonificaciones estatales el TIR máximo que se consigue es del 14%, con el Decreto Lay 701 que ha sido una buena alternativa de negocio forestal hasta el año 2007 en que sufre modificaciones de ejecución que disminuyen su rentabilidad. El TIR de 14% de bosques manejados bajo criterios de Ley 20.283 “Ley de Bosque Nativo”, es similar a la de un bosque sin ningún tipo de manejo o bonificación estatal, esto se debe a lo ambigua y poco realista en lo que se refiere a valores de costos de ejecución de actividades en ella descrita, se deja ver al hay que realizar un nuevo calculo de los montos asignados a cada tarea de manejo y a la bonificación que se otorgará por ellos. Sin embargo, pese a este tema puntual un TIR del 14% nos indica que la iniciativa del gobierno chileno de fomentar la forestación y reforestación con especies nativas es cada vez más atractiva y viable.

El turno óptimo resultante del análisis de rentabilidad (46 años), garantiza la regeneración natural de la masa forestal.

Las bonificaciones estatales hacen que la inversión en forestación y reforestación con especies nativas sean viables, aunque por el momento presenten una minima diferencia de rentabilidad. Sin embargo se debe considerar que mientras el propietario reciba bonificaciones compensatorias y de superior valor al valor marginal que el espera, no cortara.

Por el momento la obligación legal en Chile de reforestar ante la intervención de un bosque nativo, con especies nativas de crecimiento lento, hacen que la rentabilidad no sea muy alta, pero el balance se hace mas positivo cuando dentro de esa rentabilidad se contabilizan productos no madereros del bosque, tema que analizamos en el capítulo V de esta tesis.

Este estudio además permitió visualizar la necesidad de seguir trabajando en el diseño de mecanismos de gestión forestal sostenible que permitan estimar y comercializar servicios ambientales que nos brinda el bosque.

La reciente aprobación de la Ley 20.283 de manejo de bosque nativo, permitirá intervenir a edades tempranas este tipo de masas, se debe considerar por lo tanto en futuras aplicaciones de esta ley, el turno mínimo permitido de acuerdo a las características técnicas y silvícolas de cada especie. Así se puede evitar el mal uso de fondos públicos y que los propietarios realicen cortas prematuramente.

Es importante destacar que las bonificaciones forestales a especies arbóreas de crecimiento lento tienen un efecto positivo en la sociedad que aprovecha las externalidades que estas producen. La inclusión de estas externalidades como lo son la recreación, control de erosión, regulación del clima entre otras, si son incluidos en los flujos para el cálculo de rentabilidad, provocaran un alargamiento en los turnos.

CAPÍTULO 5: AJUSTE DE MODELOS DE CAPTURA DE CARBONO PARA TIPO FORESTAL ROBLE – RAULÍ – COIGÜE EN LA RESERVA NACIONAL MALLECO.

5.1. Marco Conceptual.

La importancia de los bosques como reguladores del cambio climático, y la necesidad de modelos para estimar el carbono almacenado es reconocido por varios autores (Soares et al., 2005; Paixão et al., 2006; Díaz-Franco et al., 2007; Giacomelli Sobrinho y Schneider, 2008; Silva et al., 2008; Fonseca et al., 2009).

Es así como la reciente aprobación de la ley de Bosque nativo en Chile (año 2008), plantea la necesidad de desarrollar este trabajo de evaluación de la captura adicional de carbono por parte del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe presentes en la Reserva Nacional Malleco mediante el diseño de un manejo integrado que considere óptimo productivo y mitigación de cambio climático.

Los resultados del ajuste de modelos de captura de carbono deben analizarse en función de dos escenarios:

- La capacidad de captura de bosques del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe.
- Posibilidades de manejos forestal posibles de aplicar en un plan de ordenación de los bosques renovals de este tipo forestal.

De la unión de estos dos escenarios nacerá un sistema de manejo que permita aumentar la capacidad de fijación de carbono de este tipo forestal.

5.2. Evaluaciones de carbono más utilizadas

5.2.1. Stock acumulado

La estimación del valor instantáneo del stock de carbono calculado en un momento de la vida de un bosque, nos entrega poca información sobre el verdadero rol del bosque en el ciclo global del carbono. Esto referido a la capacidad de captura de carbono de una masa forestal.

Un bosque puede tener mucho carbono almacenado, pero fijar muy poco, coma también se puede dar el caso contrario, un bosque puede tener muy poco carbono, pero ser muy dinámico y eso aumenta su capacidad para fijar mucho carbono.

Estos ejemplos están referidos al comportamiento de un bosque adulto y de un bosque joven.

Que el almacenamiento de carbono en un bosque no sea permanente, hace necesario asociar un stock a un determinado tiempo. Es así como nace el concepto y calculo de stock acumulado, que en definitiva es el producto de la cantidad almacenada por la duración de almacenamiento, y se expresa en tonelada-año.

Si suponemos que un bosque tiene un crecimiento lineal y almaceno 100 toneladas de carbono en 10 años, el stock acumulado será 500 toneladas-años, correspondiendo a la superficie en gris de la figura n° 17.

Este stock acumulado se aplica a cantidades de carbono almacenado en la biosfera como a cantidades de carbono emitidas a la atmósfera.

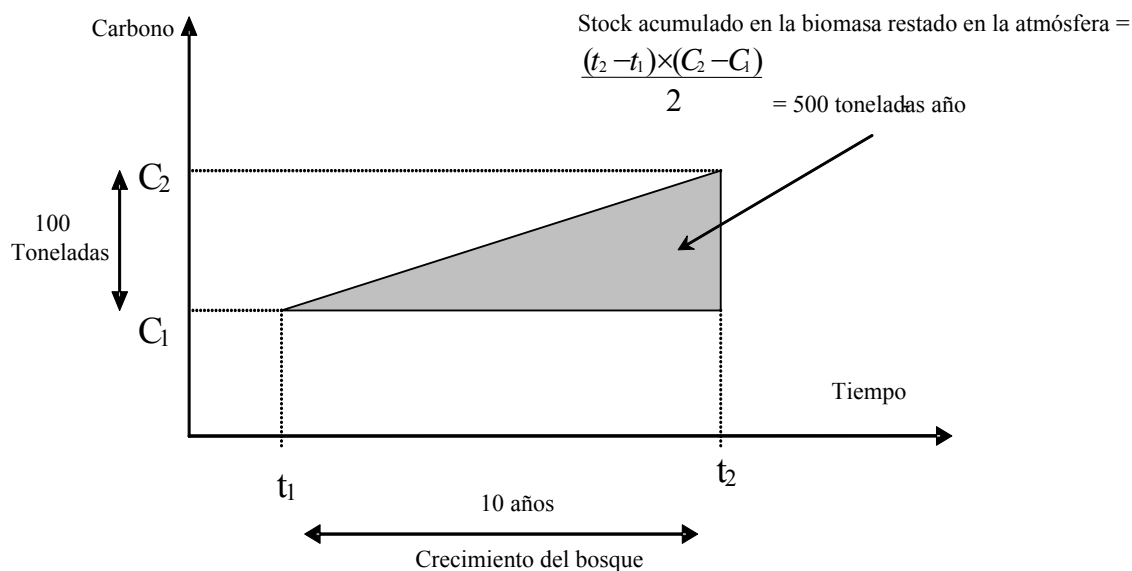


Figura 17: Ejemplo de stock acumulado para un bosque joven en crecimiento

Fuente: B. Locatelli – Rapport de la troisième mission courte d’appui – Septiembre 2000

Para efectos de este estudio se asume que un bosque adulto tiene un balance de carbono nulo, es decir que el stock acumulado restado a la atmósfera y almacenado en la biosfera es igual al stock emitido a la atmósfera por descomposición de los árboles muertos.

Para el bosque en estado de renoval se calcularán el stock acumulado luego de dos intervenciones y una cosecha final. Para facilitar los cálculos, se trabajará con un DMC (diámetro medio cuadrático) objetivo orientado a obtener el máximo en producción de madera y aumento de biomasa.

5.2.2. Carbono en biomasa aérea

El carbono de los árboles y de los desechos representa la parte más importante de la biomasa. Los otros componentes tienen un balance de carbono nulo. Además, los desechos y los árboles son los componentes más influidos por el manejo. La capacidad de fijación adicional de la RNM calculada a continuación involucrará solamente los árboles y los desechos.

Todos los rodales considerados están compuestos de las especies Coigüe, Raulí, Roble, y todas las tolerantes, se establece el supuesto que todos ellos contienen la misma cantidad de carbono como si fueran poblaciones de Raulí y Coigüe en proporciones iguales.

La cantidad de carbono por estado de desarrollo es constante en el tiempo: por ejemplo un fustal dentro de 50 años tendrá la misma cantidad de carbono en sus árboles que un fustal existente hoy día.

Esta hipótesis permite evaluar la evolución del carbono en el tiempo sin hacer muestreos repetidos sobre parcelas permanente (muestreo diacrónico), sino que proyectando los valores de cada edad evolutiva obtenidos hoy día (muestreo sincrónico).

No se producirá una catástrofe natural ni un cambio climático muy importante susceptible de destruir el bosque dentro de los 80 próximos años a partir del año de primer levantamiento de información.

5.3. Metodología de medición de Carbono.

5.3.1. Elección del sitio de muestreo

El objetivo de esta fase de muestreo en la reserva es determinar la cantidad de carbono almacenado en la Reserva Nacional Malleco a nivel de fuste. El tipo forestal más representado de la Reserva es el tipo Roble-Raulí-Coigüe, el estado de desarrollo

considerado para este trabajo es el de renoval, renoval adulto. Se inventario además un rodal de bosque adulto para realizar el análisis comparativo de los resultados del manejo de un bosque joven con la situación actual de un bosque adulto y su posibilidad en producción de madera y fijación de carbono. Con el fin de evaluar la capacidad de captura considerando la situación actual de la reserva se decidió elegir para el muestreo las especies Raulí y Coigüe, que son las que están más representadas, se considero la buena forma y estado sanitario. Se muestrearon 10 árboles por especie, fueron distribuidos por clase de diamétrica, desde los 5 cm hasta los 2 metros.

Así se buscó un rodal no clareado, de Raulí y Coigüe de todas edades, y de buen estado, que además tuviera buena accesibilidad. El único lugar que se destacó fue el vivero natural en el cantón 442, única zona sin intervención intensiva. Dentro de esta zona no se encontraron árboles de la especie Coigüe de pequeños diámetros, entonces se eligieron en un pequeño rodal de renovales de Coigüe, frente a la pradera de “las cocinas” (cantón 323).

De manera de contabilizar la fijación de carbono en árboles secos en pie presentes en la Reserva, se eligieron 5 árboles muertos, con diámetros distribuidos.

5.3.2. Diseño de Inventario de Carbono

En la estimación de la cantidad de carbono que almacena un bosque, se utilizan dos métodos. Se puede medir el carbono a intervalos de tiempo regulares (cada 10 años), o se pueden realizar medidas sobre masas forestales de diferentes estados de desarrollo, a fin de reconstituir la evolución natural del carbono almacenado. Por esta razón los sitios elegidos deben ser representativos de las especies o asociaciones especies que se encuentran en mayor cantidad dentro de la Reserva Nacional Malleco, y cubrir todos estados de desarrollo, es decir:

TIPO	DAP	ALTURA
Brinzal	5-10cm	3-10m
Latizal	10-35cm	10-25m
Fustal	35-50cm	>25m
Maduro	50-70cm	>25m
Sobre maduro	>70cm	>25m

Tabla 17: Características de los estados de desarrollo dentro de la reserva.

El tipo forestal sobre cual fueron ajustadas las funciones de estimación de carbono es el tipo Roble-Raulí-Coigüe.

5.3.3. Selección y Tamaño de la Muestra

En este trabajo se puso especial cuidado en determinar el tamaño de la muestra, dada la importancia de los bosques autóctonos en estos momentos en Chile. Generalmente en los estudios forestales y como resultado de experiencias en el ajuste de modelos fustales, la selección del número de individuos se ha basado más en un aspecto estadístico que en una condición económica (Drake, F. 2005). Al respecto, (Prodan *et al.* 1997).

Por lo que, el número de árboles está dado por la posibilidad de disponer de una cantidad maestra representativa de los árboles, como también de la factibilidad legal y económica que se disponga en relación con el cuidado del bosque nativo en Chile, por esta razón es aceptable que cuenten como requisito mínimo estar distribuidos dentro de un rango diamétrico o una zona o superficie en particular (Drake, F. 2005).

En la Reserva Nacional Malleco el levantamiento de datos se hizo estableciendo 23 zonas de inventario. Para la estimación inicial de carbono se muestreo de la siguiente manera: (1) Muestreo destructivo de 10 Raulí y 10 Coigüe, repartidos desde el diámetro de 6 cm hasta el más grande encontrado. Cuyo objetivo fue establecer una correlación entre el diámetro de un árbol y el peso de carbono almacenado en este árbol. (2) Muestreo previo de suelos: análisis de diferentes tipos de suelos en diferentes situaciones de la Reserva con dos métodos. Objetivo: Determinar la metodología de muestreo de los suelos a aplicar en las parcelas. (3) Muestreo de parcelas sistemáticas para cada tipo forestal: medición de los diámetros, pesaje de la vegetación, medición de

los desechos y toma de muestras de suelo. Objetivo: Calcular la cantidad de carbono almacenado en la biomasa de las parcelas y en el suelo.

5.3.4. Proceso de extracción de muestras

Operaciones antes de la corta:

- Medir diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura, el estado sanitario, la forma y la superficie de copa del árbol de muestreo, así como la distancia de los 5 árboles más cercanos al árbol de muestreo, su DAP, altura, forma y estado sanitario.

- Determinar las zonas de caída de los árboles de muestreo y limpiarlas, para poder encontrar después de la corta todas las partes de la copa considerada.

La cubicación de cada sección del árbol fue determinada mediante la fórmula de Smalian (Husch *et al.*, 1963), calculando el volumen sin corteza de cada troza, y por adición, el volumen de los árboles muestra.

Corta

La corta se realizó con motosierra, se cortó el tronco cada un metro y se midieron todos los diámetros de corte, de las ramas, separando ramas pequeñas y ramas grandes.

Se rotularon las muestras identificando las distintas partes del árbol de la siguiente manera: las hojas (HOJ), las ramas pequeñas (RAP, diámetro inferior a 10cm), las ramas grandes (RAG, diámetro superior a 10cm), el tronco (TR).

La primera corta se realizará tal cual como esta previsto. Esto se realizó en el mes de enero de 2002. La evolución de las clases de edad al fin del primer periodo de manejo seguirá el modelo previsto, y la revisión de este Plan de Ordenación al fin de cada periodo no cambiará los objetivos principales.

El DMC objetivo será cumplido después de dos ciclos de corta el primero a los 20 años luego de la primera intervención y el segundo luego de 15 años de la segunda intervención.

Un rodal manejado presenta la misma cantidad de carbono que un rodal no manejado. Es decir que el aumento de crecimiento después del raleo (reacción al raleo) permite recuperar el carbono exportado por la corta (ver figura nº 18).

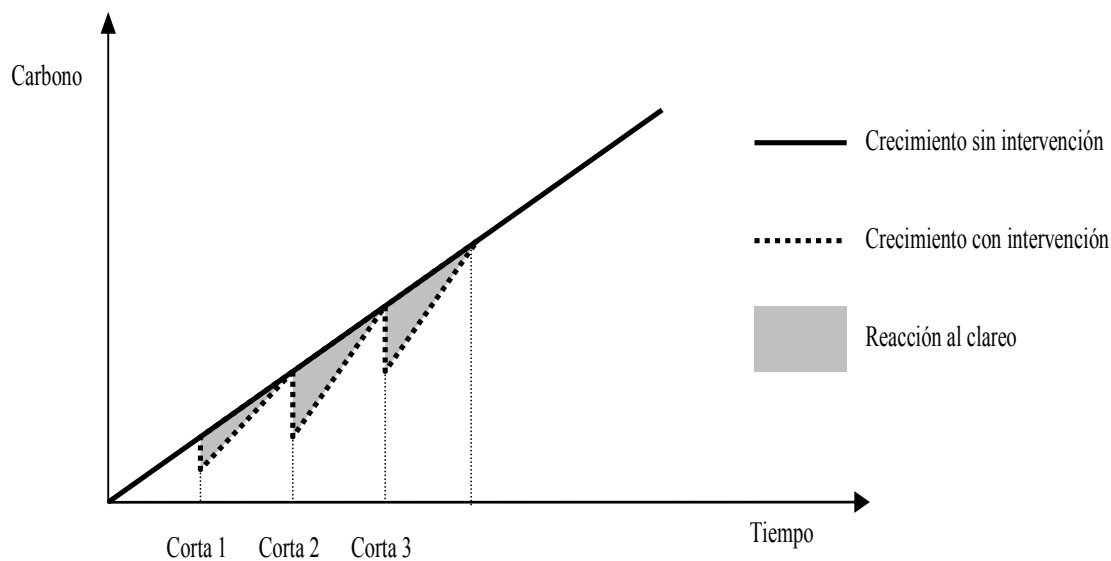


Figura 18: Esquemización de la reacción al clareo (Adaptado de B. Locatelli – Rapport de la troisième mission courte d’appui – Septiembre 2000).

5.3.5. Cálculo del Carbono en base a volumen.

Este estudio solo considera la captura de carbono de este tipo forestal a nivel de biomasa (árbol). Se estimaron los volúmenes de madera con y sin corteza de la totalidad de los individuos por medio de funciones para cada especie del tipo forestal en estudio, establecidas por (Drake, F. Emanuelli, P. Acuña, E. 2003). La cantidad de carbono almacenado a nivel de biomasa de las parcelas fue estimada aplicando la función universal de carbono que es $C = \text{Volumen} * \text{densidad de la madera} * 0,5$ (Gayoso, 2000).

Una vez hecha la corta se midió el largo total del árbol, a fin de determinar la precisión de medición del hipsómetro. Luego, se marcó cada metro del fuste a partir de la altura del pecho, se realizaron marcas con pequeños cortes de motosierra.

A cada corte, se midió la circunferencia, el ancho de corteza y se contó la superficie del espacio sin madera (CONAF-ONF, 2000). Luego se pesaron ramas y tronco.

Se trabajó en el ajuste de una función de carbono a nivel de árbol completo, considerando que los suelos forestales fijan aproximadamente el 50% de carbono del bosque y sin olvidar que el objetivo principal de este estudio es establecer un manejo

sustentable del bosque nativo enfocado a la prestación de servicios ambientales (captura de carbono y biodiversidad) y cumplimientos de rotaciones óptimas comerciales.

Para efectuar el cálculo de densidad básica o densidad de la madera, necesaria en la función universal de carbono, se tomaron 20 rodelas en cada uno de los sectores seleccionados como área de estudio. La densidad de cada muestra se obtuvo en los laboratorios de la Universidad Católica de Temuco, ubicado en la comuna de Temuco, IX Región de la Araucanía.

Las densidades fueron ordenadas según clase diamétrica y finalmente se trabajó con la densidad básica promedio para este tipo forestal, que fue de 49%.

Para el cálculo de carbono con el fin de validar los 5 modelos ajustados se utilizó la ecuación universal de carbono y además se ajustó un modelo de regresión a partir de los datos de inventario destructivo.

Ecuación universal de carbono (C)

$$C = \text{Volumen} * D * 0,5$$

Donde:

C = Carbono / ha

V = Volumen / ha

D = Densidad básica promedio para la especie (Gayoso, 2002).

Con el fin de corregir un error muestral inicial muy grande en el inventario de los residuos se midieron estos con el método de las intersecciones (Van Wagner, 1968). Este método consiste en construir una parcela con dos líneas perpendiculares y cruzándose en el centro, se mide el diámetro de cada tronco encontrado (de diámetro superior a 10cm) que este cruzando la línea de muestreo.

Mediante el diseño de una función específica se calcula el volumen de los troncos medidos en el suelo. Se utilizarán los resultados de los análisis de peso seco y tasa de carbono para calcular el peso de carbono de los desechos.

Las líneas de muestreo, de 15 metros de largo y orientadas hacia el Norte, Este, Sur y Oeste (figura 19).

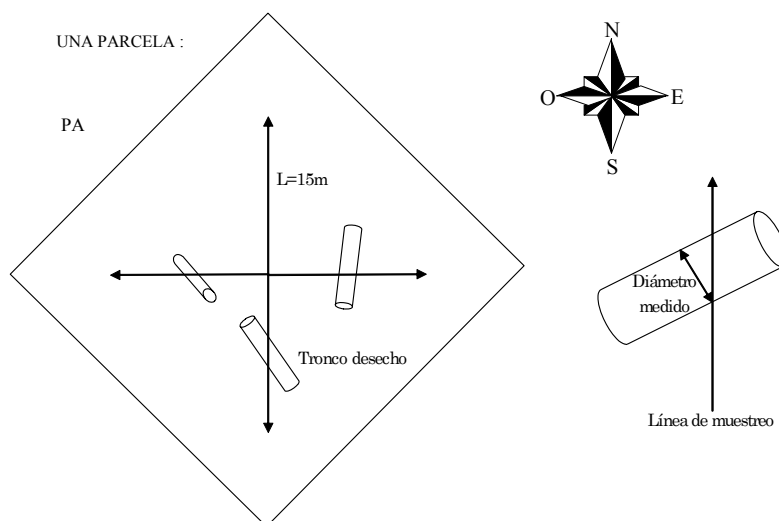


Figura 19: Método de evaluación de los desechos con el método de las intersecciones.

Fuente: B. Locatelli – Rapport de la troisième mission courte d’appui – Septiembre 2000

5.3.6. Calculo de Carbono a base de Muestreo destructivo

Los datos utilizados en este análisis son obtenidos a partir:

- De muestreo destructivo completo de los árboles MD1 a MD20;
- De muestreo complementario de árboles pequeños, de diámetro entre 2 y 15cm;
- De estimaciones de volúmenes comerciales de árboles explotados en el cantón 21 (diámetros de 10 a 100cm) y cantón 58 (diámetros superiores a 100cm), con las cuales se calculó la cantidad de carbono a partir de los resultados de laboratorio (tasa de carbono).

La cantidad de carbono contenida en cada parte de los árboles se calculó de la siguiente manera:

$$C (kg) = \frac{m_s \text{ muestra}}{m_v \text{ muestra}} * m_v \text{ pesada}(kg) * TC$$

Dónde:

m_s : Representa la masa seca en kg

m_v : La masa verde en kg

TC : La tasa de carbono en porcentaje de la masa seca

5.3.7 Elección de método de manejo para aumentar capacidad de captura de carbono en la Reserva Malleco

La legislación chilena no contempla restricciones legales a alguno de los sistemas de manejo que tradicionalmente se utilizan con este tipo de renovales, salvo restricciones en cuanto a pendientes y a protección de cauces.

A partir de los años ochenta se ha producido una rápida desaparición de los bosques autóctonos, lo que sigue causando preocupación a nivel mundial. Como causa principal hoy en día atribuida a la pérdida de grandes áreas boscosas, es su transformación en áreas de uso agrícola, bajo la falsa suposición de una mayor productividad de la agricultura. En consecuencia, darle valor a los bosques mediante un manejo sustentable muchas veces es considerada la única posibilidad de mantener la cobertura boscosa a largo plazo, principio “use it or lose it” (lo usa o lo pierde), según Johnson & Cabarle, 1993.

5.3.8. Ajuste, análisis y selección de modelos

Realizado el cálculo de volumen y cantidad de carbono a nivel de biomasa, se procedió al ajuste de modelos para la estimación del carbono. Tras la revisión de los modelos más utilizados para el cálculo de volumen se decidió trabajar con los presentados en la tabla 18, reemplazando volumen por carbono como variable dependiente, empleando para ello el software estadístico SPSS, versión 15.0.

Modelo	Autor	Función
1	Spurr	$C = b_0 + b_1 (dap^2 h)$
2	Meyer	$C = b_0 + b_1 dap + b_2 (dap^2) + b_3 dap h$
3	Stoate	$C = b_0 + b_1 dap^2 + b_2 (dap^2 h) + b_3 dap h$
4	Naslund	$C = b_0 + b_1 dap^2 + b_2 dap^2 h + b_3 dap h^2 + b_4 h^2$
5	Schumacher-Hall	$C = e^{b_0} dap^{b_1} h^{b_2}$

Tabla 18. Modelos ajustados

Como criterio de análisis se utilizo el análisis de los residuos a objeto de comprobar la capacidad de predicción de éstos modelos. Para observar su comportamiento se

construyeron gráficos de residuos respecto de las variables y se observó el comportamiento con respecto a los supuestos de los modelos.

La selección del modelo se efectuó en base la análisis de los estadísticos R^2 (coeficiente de determinación), S_{yx} (error estándar de la estimación), raíz cuadrada del error promedio, promedio de las diferencias absolutas y evaluación de la distribución de residuales (Campos y Leite, 2009). El nivel de significancia fue del 5%.

5.3.9. Validación de Modelos

La validación se realizó con los mismos árboles muestra. Es decir, corresponde a una validación interna de los modelos. En la comparación de los modelos se utilizaron medidas de sesgo y de exactitud de las estimaciones (Real y Moore, 1987; Arabatzis y Burkhart, 1992; Prodan *et al.*, 1997), para lo cual se trabajó con los estadísticos siguientes:

Raíz cuadrada del error medio cuadrático (REMC)

$$RECM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xir - Xie)^2}{n}}$$

Expresión porcentual

$$\% = \frac{100}{Xr} \sqrt{\frac{\sum (Xir - Xie)^2}{m}}$$

Diferencia Agregada

$$DA = \frac{\sum_{i=1}^n (Xir - Xie)}{n}$$

$$\% = 100 \frac{(\sum Xir - \sum Xie)}{\sum Xir}$$

Error medio absoluto

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^n |Xir - Xie|}{n}$$

$$\% = \frac{100}{\bar{x}m} \sum |Xir - Xie|$$

Desviación estándar de los residuos (DSR)

$$DSR = \frac{\sum_{i=1}^n (Ri - Rmed)}{n}$$

Donde:

n = número de observaciones utilizadas para el ajuste.

m = número de observaciones utilizadas para la validación.

X_r = media valor observado utilizada para la validación

X_m = promedio de observaciones utilizadas para la validación

X_{ir} = Valor observado

X_{ie} = Valor estimado

R_i = Residuo ($X_{ir} - X_{ie}$)

R_{med} = Media de los residuos

Husch (1963), establece que un modelo es aceptable cuando presenta una *DA* (%) no superior o inferior a ± 5 %, y un *ECM* (%) que no supere el 10 %.

5.4. RESULTADOS.

5.4.1. Datos dasométricos del bosque

En base al inventario desarrollado se obtuvo la información de existencias de los rodales estudiados, que se visualiza en la siguiente tabla.

Clase DAP (cm)	Nº Arboles/ ha	Vol/ha (m ³)	AB/ha (m ²)
15	375	38,55	6,62
25	448	130,98	21,98
35	160	98,49	15,39
45	70	80,05	11,13
55	42	74,82	9,97
65	10	25,80	3,32
75	0	0,00	0,00
85	4	19,15	2,27
95	1	6,08	0,71
105	2	15,14	1,73
115	1	9,22	1,04
125	2	22,16	2,45
135	3	39,36	4,29
145	0	0,00	0,00
155	0	0,00	0,00
165	0	0,00	0,00
175	0	0,00	0,00
Total Gral	1118	559,79	80,90

Tabla 19: Situación base del renewal para cálculo de stock de carbono a nivel de biomasa aérea (antes del manejo).

Clase DAP (cm)	Nº Arboles/ ha	Vol/ha (m ³)	AB/ha (m ²)
15	54	7,65	1,30
25	61	19,43	2,98
35	53	36,72	5,15
45	51	62,72	8,26
55	42	77,87	9,80
65	52	141,49	17,14
75	49	186,94	21,95
85	23	116,76	13,32
95	18	116,19	12,95
105	9	70,88	7,77
115	10	94,50	10,16
125	7	84,45	8,94
135	5	73,31	7,63
145	2	29,13	2,98
155	3	51,06	5,19
165	2	43,82	4,40
175	4	122,11	11,83
Total	445	1335,02	151,76

Tabla 20: Situación base del bosque adulto para cálculo de stock de carbono a nivel de biomasa aérea (solo para cosecha final).

5.4.2. Stock de carbono en árboles de muestreo destructivo

Se determinó contenido de carbono a nivel aéreo en árboles de muestreo con el fin de establecer regresiones entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) de los árboles y la cantidad de carbono contenido en ellos, las que presentan diferencias dependiendo de la especie y clase diamétrica.

Tabla 21: Contenido de carbono en árboles de muestreo destructivo (TonC/árbol).

<i>Código</i>	<i>Sp</i>	<i>Dap</i>	<i>Ht</i>	<i>CBA</i>
MD1	Raulí	6	12	0,004
MD2	Raulí	17	14	0,040
MD3	Raulí	33	17	0,169
MD4	Raulí	41	18	0,280
MD5	Raulí	55	19	0,559
MD6	Raulí	70	20	0,944
MD7	Raulí	94	21	1,753
MD8	Raulí	109	22	2,383
MD9	Raulí	132	23	3,521
MD10	Raulí	175	25	6,209
MD11	Coigüe	7	12	0,007
MD12	Coigüe	22	15	0,056
MD13	Coigüe	28	17	0,106
MD14	Coigüe	43	18	0,316
MD15	Coigüe	54	19	0,536
MD16	Coigüe	99	21	1,953
MD17	Coigüe	111	22	2,456
MD18	Coigüe	145	23	4,268
MD19	Coigüe	154	23	4,774
MD20	Coigüe	199	26	8,025

Donde:

- COD : Código de reconocimiento de árbol muestreo destructivo.
- Sp : Especie.
- Dap : Diámetro a la altura del pecho.
- Ht : Altura promedio.
- CBA : Carbono biomasa aérea.

5.4.3. Determinación de la ecuación de carbono total a partir de muestreo destructivo.

De estos resultados se estima un modelo de regresión entre diámetro a la altura del pecho y carbono total. El modelo estimado representa solo el contenido de carbono total de la parte aérea.

Para el cálculo de carbono de los árboles de diámetro a la altura del pecho menor a 15 cm (DAP<15cm) se estimaron regresiones a partir de los datos del muestreo complementario de árboles pequeños, y datos de volumen de árboles pequeños.

El carbono total de los árboles (DAP>15cm) esta evaluado a partir de los datos del muestreo destructivo únicamente.

El carbono total a nivel de biomasa aérea se obtiene mediante la siguiente regresión:

$$Ecuación\ C\ total\ biomasa\ aérea\ (CBA) = 0,223 + 0,002\ DAP - 0,020\ Ht + 0,00020\ DAP^2$$

El diámetro a altura del pecho esta expresada en cm, su coeficiente de regresión es:

$R^2 = 0,89$. El carbono esta expresado en kilogramos y el CAP en cm.

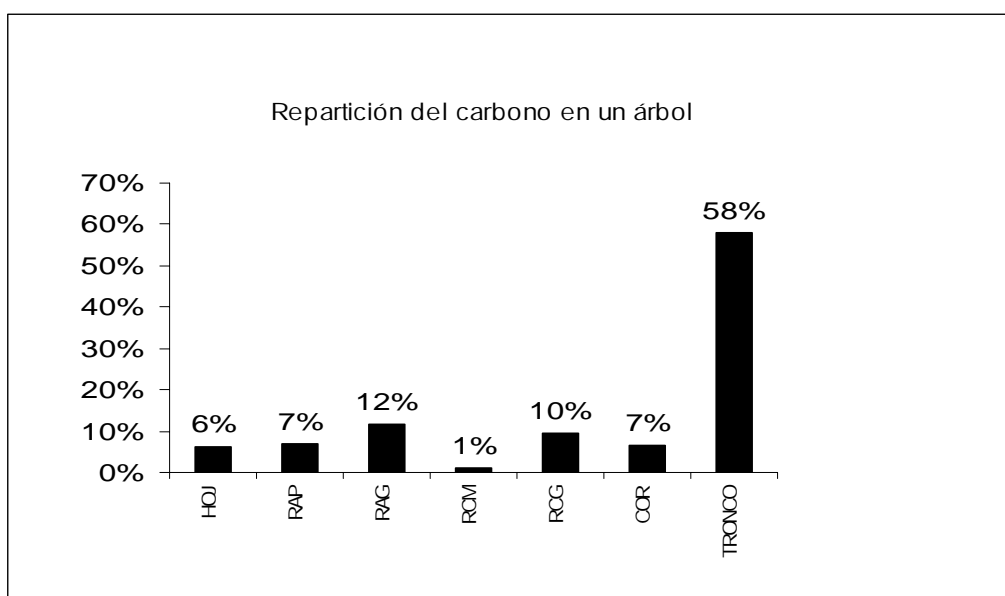


Figura 20: Repartición de carbono en un árbol

La base de datos empleada presento diferencias significativas entre las pendientes de los modelos ajustados, razón por la cual se ajusto un modelo para árboles con diámetros menor a 80 cm y árboles con diámetros mayores a 80 cm.

En la Tabla 22 es posible notar que los coeficientes de determinación ajustados resultaron todos superiores a 0,94. Sin embargo para diámetros menores a 80 cm, los modelos de Stoate, Naslund y Schumacher-Hall fueron los que presentaron mayor valor de R^2 , siendo el modelo de Schumacher-Hall el que presento menor error estándar de la estimación. En el caso de los diámetros mayores a 80 cm, los modelos de Stoate, Naslund y el de Schumacher-Hall nuevamente fueron los que presentan mayor R^2 y es el modelo de Schumacher-Hall el que presenta menor error estándar de estimación. Si bien todos los modelos evaluados tuvieron un buen ajuste, a través de la observación grafica de los residuos se pudo constatar que el modelo Schumacher-Hall presento mejor distribución (Figuras 21 y 22).

Los modelos ajustados tuvieron muy buenos estadísticos (Tabla 22). Estos modelos nos permiten predecir la capacidad de fijación de cada árbol a nivel de biomasa aérea, el modelo de mejor ajuste llevo a determinar la capacidad promedio de fijación por especie, destacando entre estas tres el Raulí. Esta especie presenta un crecimiento diametral de 0,3 a 0,5 cm/año, su aumento en volumen entre los 7 y 50 años, el cual es mayor a la de las especies Roble y Coigüe. A medida que aumenta la edad su capacidad de fijación disminuye.

Modelo	Autor	R² corregido	Error estándar de la estimación	Bias	Raíz cuadrada del error promedio	Promedio de las diferencias absolutas
DAP ≤ 80 cm						
1	Spurr	0,951	0,0649	0,0068	0,065	0,039
2	Meyer	0,944	0,0692	-0,0001	0,069	0,042
3	Stoate	0,952	0,0644	-0,0079	0,065	0,035
4	Naslund	0,952	0,0639	0,0029	0,064	0,037
5	Schumacher-Hall	0,951	0,0629	0,0046	0,065	0,038
DAP > 80 cm						
Modelo	Autor	R² corregido	Error estándar de la estimación	Bias	Raíz cuadrada del error promedio	Promedio de las diferencias absolutas
1	Spurr	0,980	0,3382	0,0347	0,320	0,202
2	Meyer	0,984	0,3043	-0,0064	0,288	0,208
3	Stoate	0,989	0,2544	-0,0560	0,253	0,160
4	Naslund	0,989	0,2519	-0,0955	0,265	0,182
5	Schumacher-Hall	0,996	0,2473	0,0041	0,267	0,169

Tabla 22: Estadísticos para cada modelo ajustado para Tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe en La Reserva Nacional Malleco.

Modelos dap < 80 cm	b0	b1	b2	b3	b4
Spurr	0,010452	0,00001			
Meyer	0,075974	-0,012864	0,000242	0,000496	
Stoate	0,007908	0,000019	0,00001	-0,000009	
Naslund	-0,001004	-0,000006	0,000012	0,000135	-0,000006
Schumacher-Hall	-11,1144	1,9337	0,9687		

Tabla 23. Parámetros de los modelos ajustados para diámetros menores a 80 cm.

Modelos dap > 80 cm	b0	b1	b2	b3	b4
Spurr	0,067415	0,00001			
Meyer	-0,111195	-0,02702	0,000275	0,00106	
Stoate	-0,39264	0,000082	0,000007	0,000183	
Naslund	-0,293306	0,000095	0,000007	0,000076	0,000003
Schumacher-Hall	-11,3299	2,0626	0,863		

Tabla 24. Parámetros de los modelos ajustados para diámetros mayores a 80 cm.

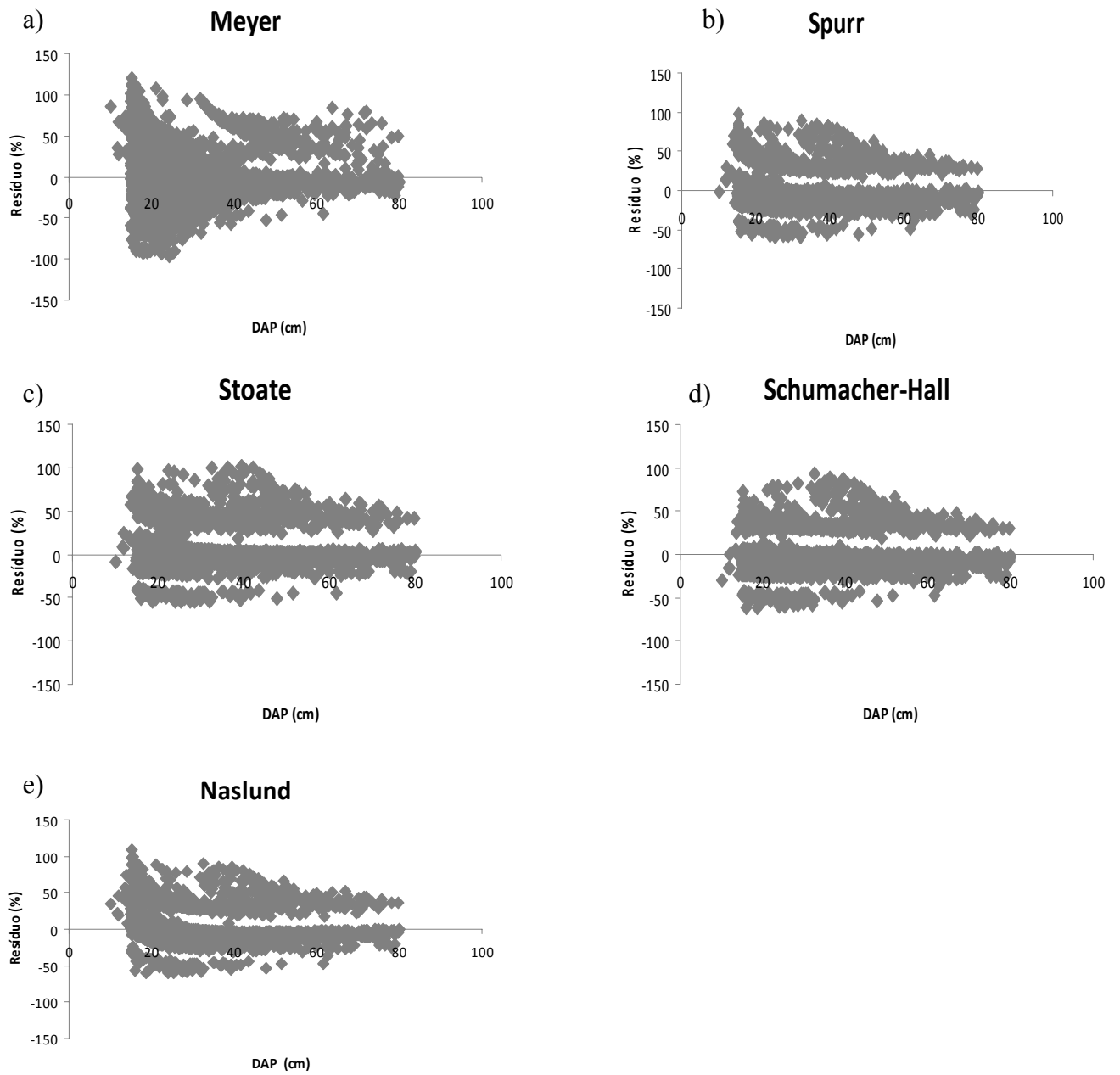


Figura 21: Distribución de residuales de los modelos ajustados para diámetros menor o igual a 80 cm. a) Meyer, b) Spurr, c) Stoate , d) Scumacher-Hall, y e) Naslund

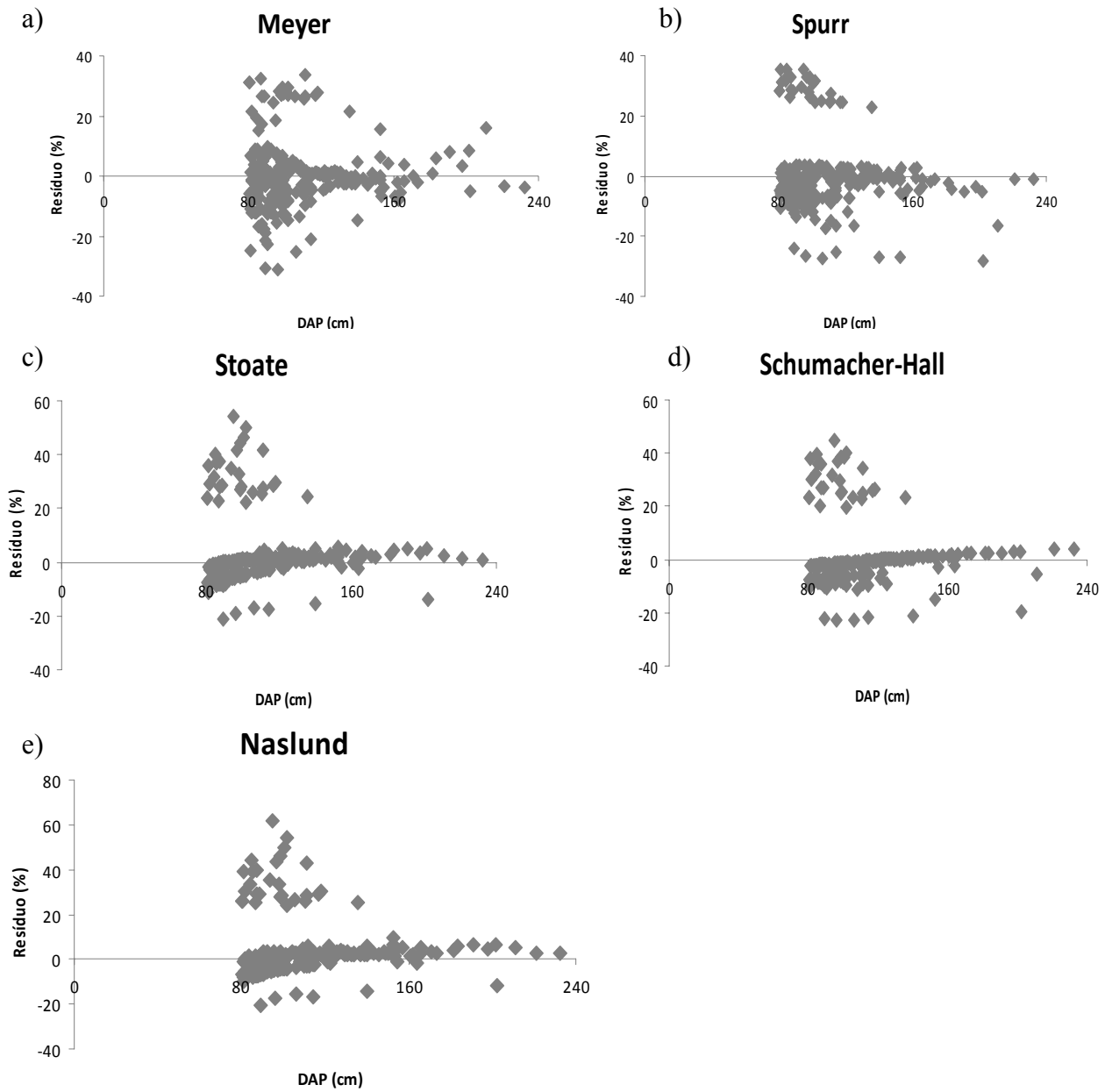


Figura 22: Distribución de residuales de los modelos ajustados para diámetros mayor a 80cm. a) Meyer, b) Spurr, c) Stoate, d) Scumacher-Hall y e) Naslund

5.4.4. Capacidad de captura de CO₂ del renoval

Para el cálculo de capacidad de captura de carbono y con el fin de facilitar la lectura de los resultados de este capítulo se consideraron las ecuaciones de menor error de la estimación (Schumacher – Hall y Naslund) y la ecuación de Carbono total biomasa aérea (CBA), obtenida del muestreo destructivo.

En base a estos cálculos se obtuvieron las siguientes tablas asociadas a la información de carbono de los bosques estudiados a diferentes niveles de especificidad.

Clase DAP (cm)	Nº Árboles/ha	Vol/ha (m ³)	AB/ha (m ²)	Modelo CBA Valores de carbono en (ton/ha)	Modelo Schumacher – Hall Valores de carbono en (ton/ha)	Modelo Naslund Valores de carbono en (ton/ha)
15	375	38,55	6,62	9,44	9,08	5,69
25	448	130,98	21,98	32,09	17,32	12,84
35	160	98,49	15,39	24,13	14,17	11,71
45	70	80,05	11,13	19,61	14,52	12,64
55	42	74,82	9,97	18,33	14,15	12,67
65	10	25,80	3,32	6,32	12,70	11,59
75	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	4	19,15	2,27	4,69	10,31	9,63
95	1	6,08	0,71	1,49	10,19	9,59
105	2	15,14	1,73	3,71	6,19	5,85
115	1	9,22	1,04	2,26	8,20	7,81
125	2	22,16	2,45	5,43	7,29	6,97
135	3	39,36	4,29	9,64	6,29	6,05
145	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
155	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
165	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
175	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	1118	559,79	80,90	137,15	130,40	113,05

Tabla 25: Tabla de Rodal y capacidad de captura de CO₂ del renoval

Posteriormente se calculó el valor total de capacidad de fijación de carbono a nivel de biomasa aérea, utilizando el valor promedio por clase de las funciones Schumacher - Hall y Naslund.

Clase DAP (cm)	Modelo CBA	Modelo Schumacher – Hall	Modelo Naslund	Promedio Modelo Schumacher - Hall y Meyer
	Valores de carbono en (ton/ha)	Valores de carbono en (ton/ha)	Valores de carbono en (ton/ha)	Valores de carbono en (ton/ha)
15	9,44	9,08	5,69	7,39
25	32,09	17,32	12,84	15,08
35	24,13	14,17	11,71	12,94
45	19,61	14,52	12,64	13,58
55	18,33	14,15	12,67	13,41
65	6,32	12,70	11,59	12,15
75	0,00	0,00	0,00	0,00
85	4,69	10,31	9,63	9,97
95	1,49	10,19	9,59	9,89
105	3,71	6,19	5,85	6,02
110	2,26	8,20	7,81	8,01
115	5,43	7,29	6,97	7,13
120	9,64	6,29	6,05	6,17
125	0,00	0,00	0,00	0,00
130	0,00	0,00	0,00	0,00
135	0,00	0,00	0,00	0,00
> 140	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	137,15	130,40	113,05	121,74

Tabla 26: Carbono contenido en los árboles del renoval Roble-Raulí-Coigüe en la Reserva Malleco según objetivo de producción

DAP (cm)	Objetivo de Producción	Superficie en ha	Promedio Valor de carbono en ton/ha	Valores de carbono hoy en ton
< 10	Leña	114,9	121,74	13.987,93
10-60	Leña - Aserrable	4.239,9	121,74	516.165,43
71-110	Aserrable	1.216,0	121,74	148.035,84
111-160	Aserrable - Debobinable	1.616,4	121,74	196.731,84
0> 160	Debobinable	3.506,2	121,74	426.844,79
Totales		10.693,4		1.301.765,83

Tabla 27: Tabla resumen del contenido de carbono según objetivo de producción (ton/ha)

Sp	Modelos		
	fx Carbono CBA	fx Carbono Schumacher - Hall	fx Carbono Naslund
Arrayan	0,01	0,01	0,01
Avellano	2,83	2,78	1,47
Avo	0,87	0,85	0,71
Coigüe	52,12	50	44,6
Laurel	0,83	0,82	0,63
Lingue	0,43	0,4	0,31
Ñirre	0,48	0,41	0,35
Olivillo	8,05	7,79	6,13
Radal	0,12	0,14	0,07
Raulí	44,15	40,2	37,31
Roble	14,34	14,42	12,93
Tepa	5,41	4,69	2,38
Tineo	6,03	6,12	5,08
Trevo	1,48	1,77	1,07
Total	137,15	130,4	113,05

Tabla 28: Carbono contenido en los árboles (Biomasa aérea) por especie (ton/ha)

Capacidad de captura de carbono a nivel de biomasa aérea por especie

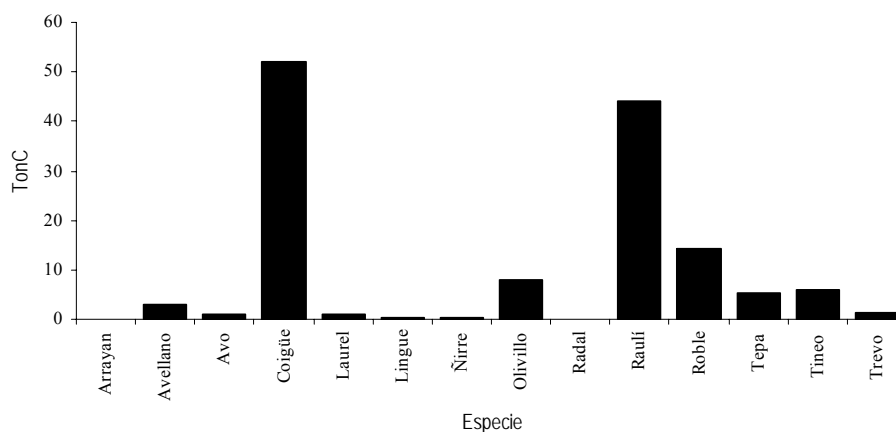


Figura 23: Representación gráfica de capacidad de captura de carbono a nivel de árbol por especie.

Todos los modelos seleccionados, con el diámetro y altura como variables predictoras, para estimar la biomasa a nivel de fuste en especies nativas chilenas, de bosque secundario o en plantaciones, fueron estadísticamente significativos y con ajustes superiores al 94 %. En forma general, el fuste presenta buenos ajustes. Tener como variable predictora el *dap* es una ventaja debido a que su medición en el campo es muy fácil de realizar.

Fueron analizados 5 modelos de estimación de carbono para Tipo forestal Roble-Raulí y Coigüe en la Reserva Nacional Malleco, siendo indicado como el mas adecuado el modelo de doble entrada Schumacher-Hall. Este modelo presento el mejor ajuste de acuerdo a los indicadores estadísticos considerados, además de una mejor distribución de residuales.

La fijación de carbono a nivel de biomasa aérea presenta un incremento escalonado, se tiene que a los 45 años de edad del renoval alcanza un promedio de 121,74 TonC/ha a nivel de biomasa aérea.

La superficie del renoval en estado de ser manejada productivamente es de 10.693,4 ha. Lo que significa que en este momento y sin ningún tipo de manejo en esta zona, la parte aérea del renoval fija 1.301.765,83 TonC.

5.5. DISCUSIÓN

En general, los cinco modelos seleccionados presentan buenos ajustes (R^2_{aj} superior al 95%, con una $P < 0,05$). Tienen como variable regresora el diámetro y la altura total, de los cuales la altura total no siempre es posible, siendo la variable más inexacta y que mayor tiempo demanda durante la toma de datos en el inventario forestal para el manejo de plantaciones y/o bosque natural. Sin embargo el utilizar estas variables representa una ventaja adicional ya que permite estimar el carbono a partir de solo dos variables de medición directa. Al incluir la variable altura se contribuye de manera importante al ajuste de los modelos de forma.

Los mejores ajustes en los modelos se observan para diámetros bosque secundario. Esta variabilidad de diámetros se debe al crecimientos de diferentes especies principalmente del genero *Nothofagus* en comparación con las plantaciones donde las condiciones son más uniformes. Al respecto, Segura y Andrade (2008) mencionan que la correlación entre el dap y el volumen, la biomasa y el carbono de fustes y ramas gruesas son altas, pero bajas entre el dap y la biomasa de hojas y ramas pequeñas. Montero y Kanninen (2002) y Pérez y Kanninen (2003) también reportaron correlaciones bajas para las hojas y las ramas con el *dap*.

Similares resultados en el grado de ajuste (R^2) y variables utilizadas obtienen otros investigadores, por ejemplo, en plantaciones forestales Sanquetta et al. (2008), para *Pinus taeda* L., presento resultados similares en el grado de ajuste (R^2), los que variaban entre 89,8% y 96,6% en modelos para estimar la biomasa arbórea cuando correlacionan la biomasa con el diámetro o altura.

Otras experiencias de modelos en bosques primarios o secundarios, utilizando variables como dap, altura (h), volumen (v), densidad específica de la madera (DE), el área basal (G) y con R^2 mayor a 85% son los informados por Brown e Iverson (1992) y Brown et al. (1989) en bosques tropicales en Centro y Suramérica, Francis (2000) en Puerto Rico, Segura et al. (2000) y Segura y Kanninen (2005) ambos en Costa Rica, Acosta et al. (2002) en Oaxaca, México, Schlegel (2001) en Chile, Gaillard et al. (2002) en Argentina, y en Colombia, Orrego y del Valle (2001) y Sierra et al. (2001).

Para las estimaciones de carbono, Orrego y del Valle (2001) no recomiendan utilizar factor para obtener estimaciones conservadoras y dar mayor confianza a los inversionistas. En este trabajo se probaron modelos usados comúnmente en la obtención de volumen del árbol y se eligió el mejor modelo ajustado para la obtención de biomasa aérea. Los modelos de Schumacher-Hall y Naslund fueron los modelos elegidos debido a que estos no sobrestimaron la biomasa en bosques secundario.

Al mezclar todas las especies la muestra es bastante grande ($n = 4464$) y se cubre la amplitud diamétrica con buena representación por rango diamétrico representativos de este tipo de forestal chileno como se muestra en la (Tabla 9). Para ecosistemas mixtos, muchos investigadores construyen sus modelos tomando como referencia la dominancia de las especies (Segura et al., 2000; Acosta et al., 2001; Segura y Kaninnen, 2005, Segura et al. 2006), otros seleccionan las especies a conveniencia (Moraes, 2001) o aleatoriamente (Aguilar, 2001; Arreaga, 2002), y en otros casos se utiliza la técnica del árbol promedio como recomienda MacDicken (1997). En este estudio se inventario todo el rodal colocando especial interés en especies características del tipo forestal y con diámetros óptimos de cosecha. El muestreo se analizó por clase diamétrica, esto garantizo una mayor cobertura del rango diamétrico observado. El tamaño de muestra utilizado, la cobertura diamétrica y la forma de elegir los árboles para cuantificarles la biomasa y el carbono dan más confiabilidad a los modelos seleccionados.

5.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Estas investigaciones proporcionan una base sólida para evaluar la capacidad de fijación de carbono de los bosques secundarios de Chile. Con las cifras obtenidas y conociendo las tasas de abandono de tierras cultivadas y pastizales y su transformación en bosques secundarios, así como la superficie apta para ser reforestada, se pueden calcular las cantidades de carbono susceptibles de ser almacenadas en la vegetación de esta parte del mundo. De ello pueden beneficiarse una amplia gama de organismos e instituciones, incluyendo organismos internacionales, agencias gubernamentales, ONGs, empresas e inversores y pequeños propietarios.

El bosque cumple una función de preservación de la vida, esto ha inducido a la toma de iniciativas y acuerdos internacionales con el fin de que los países tomen medidas a nivel local para detener el proceso de destrucción de éstos y promover a la vez el desarrollo sostenido de estos recursos.

Dentro de este contexto, los renovales del tipo forestal Roble, Raulí y Coigüe se presentan como los con posibilidad de ser manejados considerando prestación de servicios ambientales y producción de madera. Este tipo forestal en estado de renoval representa un 23% de la superficie total de bosque nativo en Chile. Su valor científico no solo hace que se destaquen a nivel productivo, sino que también que posean un alto valor cultural, ya que las especies asociadas a este tipo de bosques están estrechamente relacionadas con la población rural e indígena de Chile.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS BIOECONÓMICO DE LA CAPTURA DE CARBONO EN TIPO FORESTAL ROBLE – RAULÍ – COIGÜE EN LA RESERVA NACIONAL MALLECO.

6.1. Génesis de los análisis bioeconómicos

A pesar de su antepasado común, la economía y la biología caminaron separados por mucho tiempo. Según Tullock (1999), ambos tienen sus avances T. R. Malthus, que en principios del siglo XIX, publicó un “Un ensayo sobre los Principios de la Población” (1803). Después de leer este libro, Darwin (1859) se dio cuenta de que el argumento básico que contiene es aplicarse directamente a la parte de mundo no humano. El interés en otras especies por parte del hombre, está justificado por el hecho de que estas estaban libres de muchas dificultades que a ellos afectaban. No-humanos no experimenta el progreso tecnológico. Tampoco, o bien, puede practicar el control artificial de la natalidad (Tullock, 1999). En resumen, animales y plantas cuyo comportamiento es más consistente que el de los seres humanos, si es menos probable que estos puedan producir un comportamiento impredecible. Los seres humanos están limitados por su hábitat, así como los parámetros morfológicos y fisiológicos que les impiden la adopción de estrategias económicas ambientales compatibles con su bienestar (Pethig Tschirhart, 2001; Giannetti, 2005). Este enfoque no sólo permitió a Darwin revolucionar la biología sino también acercarse más a la Economía (Tullock, 1999). Al mismo tiempo, Marx y Engels también al leer el ensayo de Malthus, pero con el interés centrado solamente en el ser humano dio lugar al libro “Dialéctica de la Naturaleza” (1875). En ella, Engels señaló que la competencia despiadada entre las especies, según lo descrito por la teoría de la evolución de Darwin, se convirtió en la cooperación dentro de cada especie en particular (Tullock, 1999). El saldo de estas ideas es que los biólogos han pasado por un sendero de múltiples especies, mientras que los economistas están limitados a un camino monoespecíficos. Desde el principio, el propósito declarado de los economistas era que se iba a beneficiar al ser humano. Biólogos, a su vez, nunca lo anunció como su objetivo básico, pero muchas veces han perseguido la mejora de las especies individuales como una forma de mejorar el suministro de alimentos para los seres humanos (Tullock, 1999). Aunque los objetivos de unos y otros pueden ser diferentes, estructural y técnicamente, ambos campos de actividad tienen mucho en común. Tanto

la biología cómo la economía abordan los problemas de maximización restringida. Los biólogos buscan entender la existencia de especies en función de las restricciones que enfrentan.

El análisis económico de los recursos no renovables solo adquiere algo de importancia a mediados del siglo XX (Faucheux & Noël, 1995, p.162). A lo sumo, podemos destacar el interés de los habitantes de las zonas forestales, cuyo modelo pionero (el modelo Faustmann) se remonta a 1849 (Faucheux & Noël, 1995; Hampcke, 2001). Técnicamente, el aspecto que sin duda contribuyó más al enfoque de la economía y la biología ha sido el fenómeno de la renovación que los recursos naturales están sujetos. Los modelos de las Ciencias Naturales especialmente en la biología que están cerca de los modelos demográficos permiten comprobar la trayectoria a seguir por un animal o planta, son poblaciones sometidas a un determinado levantamiento de información (Faucheux & Noël, 1995). La intensidad con la que esta variable económica se realiza, es que precipita la prolongación de la extinción o existencia de los recursos naturales renovables.

6.2. Economía de recursos naturales renovables

Es la Bioeconomía la responsable de analizar de una manera económica los recursos naturales. La inclusión de los factores económicos en modelos de población de características renovables se refiere a los primeros modelos logísticos de cosecha. A falta de perturbación, en la mayoría de las especies, las tasas de natalidad y mortalidad se mantienen en equilibrio. Como resultado, la población sigue siendo más o menos constante e igual a la capacidad de carga (K) de su entorno. Sin embargo, cuando se someten a la cosecha o depredación, estas especies experimentan cambios en sus tasas de mortalidad. Si la alteración no es demasiado grave, la población se forma y reorganiza a sí misma en un nuevo estado de equilibrio, tales que $X_H < K$ (con X_H = población sobreviviente después de la cosecha o la depredación). El problema que debe resolver el modelo de manejo de un bosque consiste entonces en encontrar una tasa de explotación que al mismo tiempo de maximizar la producción sostenible de este recurso, permita a su población regenerarse de acuerdo con la máxima de crecimiento (Murray, 1993).

Hoy en día el mundo experimenta una nueva división económica, que es la que establece entre los defensores de la biodiversidad y los productores de biotecnología. Esta situación ya ha traspasado las fronteras regionales y nacionales, y ahora se ha transformado en un tema de preocupación mundial, dejando claro que los ecosistemas y límites naturales no siempre obedecen a contornos geopolíticos.

Las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) y la respuesta a esto, como lo son los proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), ambos definidos por el Protocolo de Kyoto (1997), hacen que estos últimos mediante la reforestación y forestación se conviertan en una de las estrategias biotecnológicas más requeridas para convertir los bosques en sumideros de carbono.

Económicamente, estos sumideros artificiales de carbono, contruidos principalmente a través del establecimiento y manejo de bosques, disputan el uso de la tierra con sus congéneres naturales (bosques nativos, cursos de agua, campos agrícolas, matorrales, etc.), con la industria extractiva forestal y con otras actividades económicas relacionadas con la conservación de los recursos forestales (pecuaria y minería). Podemos decir que la tasa de uso del suelo estará dada por la necesidad de sustituir unas por otras, lo cual dependerá de: a) Demanda de mercado por sumideros de carbono; b) La tasa intrínseca de crecimiento biológico existente en una plantación o bosque nativo; c) Las tasas de retorno ofrecidas por usos alternativos de la tierra, comparándolas con la posibilidad de percibir una mejor tasa mediante el secuestro de carbono y preservación de la biodiversidad.

Es urgente entonces un consenso entre las estructuras institucionales nacionales e internacionales en torno a los instrumentos de política ambiental necesarios (Muller, 2007).

La convergencia de intereses económicos y ambientales de países industrializados y en vías de desarrollo es la principal virtud del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y los mercados voluntarios de carbono.

Sin embargo es preciso discutir que la ejecución de un proyecto de este tipo sea justo para ambas partes, es decir, que la preamar eleve por igual todos los barcos. Ocasionalmente la elevación brusca de mares arremete contra los barcos más débiles golpeándolos hasta despedazarlos (Villavicencio, 2004).

En todo proyecto de esta naturaleza es inherente el riesgo de que la reducción de emisiones realizada sea menor a lo inicialmente estimado. En virtud de eso, la mayor parte del riesgo es asumido por el país anfitrión. Por lo menos, la proporción de los

beneficios esperados y la capacidad de reembolso del préstamo para la ejecución del proyecto, depende exclusivamente de los créditos generados por la eliminación de emisiones (CERs) (Villavicencio, 2004).

Kolhus *et al*, 2001, estimo que para el año 2010 la inversión en proyectos MDL seria aproximadamente de unos US\$ 450 millones.

El objetivo de este análisis es conectar productividad con manejo sostenible de los bosques, involucrando en este manejo variables de tipo ambiental (fijación de carbono y biodiversidad). Bieconómicamente hablando, este estudio determinará los límites que la naturaleza impone sobre el consumo (uso) de los recursos naturales renovables como lo son los bosques naturales de Chile. En otras palabras se determinan los límites óptimos de cosecha, que respeten la tasa natural de regeneración o asimilación de los ecosistemas, permitiendo con esto la producción de bienes y servicios complementarios de los bosques. En resumen se cosechan y utiliza la fracción correspondiente a la productividad natural de los recursos.

Si analizamos desde este punto de vista biológico la relación entre economía y medio ambiente, debemos rechazar la proposición de la capacidad ilimitada de los ecosistemas para proporcionar recursos naturales y para absorber los residuos y la contaminación generada por el sistema económico (Mueller, 2007).

En un principio el mercado del carbono presento una considerable variabilidad en la estimación de sus precios. Esta situación se daba debido a que los grandes proyectos de reducción de emisiones podían llevar muchos años antes de comenzar a funcionar. Por otro lado estaba que generalmente las empresas y los países no conocían los beneficios y costos del manejo de bosques como sumideros de carbono. Por esta razón y en virtud de la inexistencia de información confiable y efectiva sobre los créditos de emisiones, las decisiones de participación en este tipo de mercado corrían el riesgo de ser ineficientes económicamente (Ehrhart & Schleich, 2005).

Es así como, a medida que las metas de emisiones se hacen cada vez más rígidas (IPCC, 2007), los precios de los créditos de carbono tienden a subir dramáticamente. En consecuencia medidas más caras de reducción de emisiones se tornan económicamente viables. (Ehrhart & Schleich, 2005).

Dependiendo de la intensidad de estos impactos, la resiliencia (la capacidad de recuperarse de disturbios) el medio ambiente puede ser tan sacudido que termina comprometiendo irreversiblemente, el suministro de los recursos naturales y lugares de servicios ecológicos (Mueller, 2007; Niccolucci *et al.*, 2007). El desajuste entre la oferta

y la biocapacidad de la demanda de capital natural necesario para satisfacer cierto nivel de consumo (huella ecológica) causa un desequilibrio ecológico. Cuando la primera es mayor que el segundo, se tiene un escenario de "crédito ecológico", de lo contrario, cuando es más grande que eso, lo contrario "La deuda ecológica" (Wackernagel y Rees, 1996; Niccolucci *et al.*, 2007).

El intercambio desigual ecológico (la deuda ecológica o de crédito) se manifiesta de dos maneras: a través de los precios internacionales o por el espacio "ambiental" (Martínez Alier, 2002). En el primer caso, los precios de los productos exportados no incluye la remuneración daños monetarios (costos) ambientales causados a los productores. En el segundo caso, el nivel de consumo en algunos países o regiones del mundo implica un uso desproporcionado del medio ambiente espacial (reservorios naturales - clima, la biosfera, la geósfera, la hidrosfera y la criósfera) y los servicios ecológicos que ofrecen allí.

La metodología utilizada para el trabajo desarrollado en este capítulo pretende demostrar que el análisis real de los fenómenos económicos puede excluir completamente la métrica de la moneda. No sólo porque fenómenos ambientales que requieren cada vez más la emancipación (Munda *et al.* 1994; Martínez Alier *et al.* 1998; Hoag *et al.*, 2002; Munda, 2004, Muni, 2006), sino que también porque sean considerado dentro de la teoría económica (Sraffa, 1997; Patterson, 1998).

Este capítulo examina el comportamiento matemático entre el óptimo productivo de un bosque y su prestación de un servicio ambiental como es el secuestro de carbono y conservación de la biodiversidad, en un renoval de Roble-Raulí-Coigüe localizado en la Reserva Nacional Malleco.

Para el logro d este objetivo se plantea el supuesto de lograr un justo equilibrio entre los intereses económicos de los propietarios de este tipo de bosques y la capacidad de estos para recuperarse de un manejo forestal dirigido a su rápida regeneración.

6.3. Proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

Para el desarrollo de un proyecto de gestión sustentable con las características de un bosque del tipo forestal Roble, Raulí y Coigüe, se deben considerar los cuatro criterios de evaluación de un proyecto tipo “Mecanismo de Desarrollo limpio” (MDL): aceptabilidad, adicionalidad, externalidades, capacidades.

Sin embargo, la situación del manejo de bosques autóctonos se considera un proyecto de manejo forestal y esta situación lo imposibilita de emitir bonos de carbono a través del MDL, ya que en éste sólo son admisibles proyectos forestales de forestación y reforestación. No obstante, existen estándares del mercado voluntario en donde si son elegibles los proyectos de manejo forestal.

El Voluntary Carbon Standard (VCS) es el mecanismo que permite postular proyectos de manejo forestal en bosques autóctonos al mercado de los bonos de carbono. Para entrar a mercado voluntario es necesario desarrollar un documento denominado PD (Project Description) en el que se presenta toda la información relevante sobre los aspectos técnicos y organizativos de la actividad del proyecto.

El PD es confeccionado basándose en los lineamientos para una metodología de línea base y monitoreo, la que es específica para la actividad del proyecto.

El proyecto debe considerar dentro de esta metodología:

- La definición de los límites del proyecto (área física o geográfica que delimita las actividades del proyecto).
- El cálculo de la línea base del proyecto (escenario sin proyecto).
- El cálculo de las reducciones de emisiones atribuibles al proyecto.
- La verificación de la **adicionalidad** del proyecto (el VCS posee una herramienta específica para determinar si un proyecto de manejo forestal es adicional).

Cada metodología presenta una serie de condiciones que restringe su aplicación a proyectos de determinadas características, conocidas como las condiciones de aplicabilidad del proyecto.

Aunque un proyecto no cumpla con los requisitos básicos para el mercado del carbono mediante el MDL, se debe diseñar en su primera etapa considerando los 4 criterios reconocidos para este tipo de actividad.

6.3.1. Aceptabilidad

Se define como la evaluación del proyecto en conformidad de las políticas nacionales, y si corresponde a los criterios definidos por este país huésped para los proyectos de implementación conjunta.

La factibilidad de implementar un proyecto derivado de esta investigación esta enmarcado dentro de las políticas forestales nacionales, así como con la posición de Chile en el proceso de negociación internacional del Convenio Climático Global.

6.3.2. Adicionalidad

Se define como la comparación de la situación “con proyecto”, con una situación de referencia “sin proyecto”.

Al evaluar la adicionalidad se deben considerar tres aspectos fundamantales:

- Sobre las emisiones, la captura de gas de efecto invernadero (GEI) debe ser real y cuantificable. El objetivo del presente trabajo fue evaluar este punto, sus resultados nos demuestran la factibilidad de manejar este tipo de bosques para una mejor capacidad de fijación de CO₂.
- Sobre la intención, el proyecto debe especificar claramente su intención de reducción de emisiones. En este trabajo de investigación se ha complementado la información ya existente con información de parcelas permanentes que han ratificado los resultados obtenidos sobre la gran capacidad de estos bosques en la mitigación del cambio climático.
- Sobre el financiamiento, es decir que la capacidad de servir como sumidero de “carbono” debe ser capaz de cubrir los objetivos de reducción de emisiones. El proyecto debe autofinanciarse y así lograr los objetivos de sustentabilidad económica.

6.3.3. Externalidades

Se definen como los impactos indirectos del proyecto, relacionados o no a los GEI.

Como externalidades que se relacionan con los GEI se puede mencionar las llamadas “glissements” (*slippage*) y fugas (*leakage*). El concepto de “glissement” se usa cuando las reducciones de GEI del proyecto son balanceadas por emisiones inducidas por procesos similares en otras áreas. El concepto de fuga se usa cuando los productos del proyecto inducen emisiones de GEI (por ejemplo consecuencias de la transformación de los productos forestales).

En cuanto a las externalidades no relacionadas con los GEI, se definen las que apuntan a los componentes de desarrollo y de medio ambiente. Los efectos sobre el desarrollo local tienen que ser positivos (oportunidad de ingresos a largo plazo, transferencia de tecnología, desarrollo humano). Así mismo los efectos sobre el medio ambiente deben ser evaluados (biodiversidad, hidrología, desechos, uso de productos químicos). No existen “glissement”, como tampoco fugas ante un eventual manejo sustentable del bosque nativo, para aumentar la fijación de CO₂. El manejo necesariamente debe apuntar al mejoramiento de los ingresos de las comunidades aledañas, acompañado con un programa de capacitación. Las externalidades no relacionadas con los GEI son entonces positivas.

6.3.4. Capacidad

Se define como la capacidad del proyecto para alcanzar sus objetivos (puesta en marcha y evaluación), Se deben reconocer cuatro capacidades en este análisis: la financiera, la administrativa, la tecnológica y la de infraestructura. Además de probar los resultados.

- La capacidad financiera se evalúa con un estudio de factibilidad del proyecto, realizando una proyección de los costos, ingresos, y de los financiamientos.
- La capacidad de gestión se evalúa con el diseño y revisión de un Plan de Ordenación a largo plazo.
- La capacidad tecnológica y de infraestructura se estima con la disponibilidad de tecnología, de calificación profesional, de mano de obra, de recursos y de material.

- La capacidad de probar los resultados se asegura con la posibilidad que tiene el proyecto de cuantificar sus efectos, de modo transparente y simple, incorporando sus sesgos.

6.4. Ordenación de bosques.

6.4.1. Rendimiento máximo sustentable

El RMS (rendimiento máximo sustentable) o edad de rotación RMS se produce cuando el valor del árbol, medido por la cantidad madera que puede extraerse de él, es menor que el valor máximo RBM (rendimiento biológico máximo) que el árbol puede lograr sin rotación (Faucheux y Noël, 1995) (Figura 7).

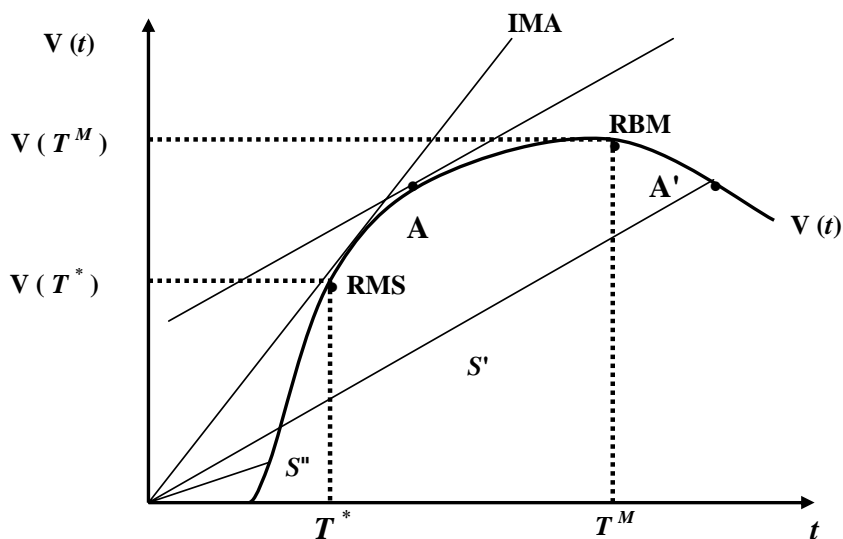


Figura 24: Tiempo de corte de acuerdo a los criterios biológicos

Fuente: Versión ligeramente modificada de la original Faucheux y Noël (1995, p. 194)

Nota: rendimiento RMS = Rendimiento máximo sostenible; RBM= Rendimiento biológico máximo; IMA =Incremento medio anual.

Basados en la perspectiva del costo de oportunidad del capital (Fisher, 1984), define esta situación como la oportunidad de inversión, que implica la elección entre el consumo y la inversión o inversión de capital, lo que equivale a una renuncia del consumo actual, lo que debe generar un ingreso, es decir, la productividad del capital, que compensa el sacrificio "(Faucheux & Noel, 1995, p. 153). El segundo enfoque proporciona la teoría de los intereses a partir de una base psicológica o subjetiva, basada en la premisa de que tiende a preferir los bienes presentes a los bienes futuros (Fisher, 1984).

6.4.2. Modelo de Faustmann

En 1813 Von König estableció los principios de la teoría del capital, luego Fisher y Böhm-Bawerk, los convirtieron para la economía forestal aunque solo lo hicieron para una sola generación de árboles. En 1849, Martín Faustmann lo difundió y lo aplicó a la gestión de las empresas forestales. Por eso este modelo de gestión fue conocido incorrectamente en Economía Forestal, como "Fórmula de Faustmann" (Speidel, 1967). Centrado en la fórmula "Faustmann", la producción de madera era el único beneficio que la empresa podría obtener del bosque. Obviamente, en el momento actual, eso no corresponde a una verdad completa. Otras funciones de los bosques han adquirido importancia desde entonces. Van desde la protección del suelo, el clima y los recursos de agua a la *conservación de la biodiversidad, secuestro de carbono* y la recreación (Hampicke, 2001).

En comparación con el modelo de gestión forestal de Fisher, el de Faustmann representa su versión dinámica. La rotación óptima calculada a través de la fórmula "de Fisher" se refiere a "clara" de una sola generación de árboles. Es decir, la "regla de Fisher" considera que en cada T_k de una secuencia de tiempos $T_1 < T_2 < T_3 < \dots$ el bosque es totalmente cosechado y replantado. Para la mayoría de aplicaciones prácticas, este recorte estático, limitando y restringe el análisis a una sola generación de árboles. No permite examinar las consecuencias para las futuras generaciones de la tala de árboles que ocurrió en el presente (Faucheux y Noël, 1995).

El modelo de gestión forestal propuesto por Faustmann incorporó un componente dinámico en el modelo de Fisher. Faustmann trató de "dar cuenta del efecto de rotación de corta o valor actualizado [valor presente] de todos los árboles futuros y no solo de una sola generación de árboles vendidos (Faucheux & Noël 1995, p. 197). Para ello, en

lugar de aplicar la fórmula de Fisher a un solo período, Faustmann lo trató como una *serie* (es decir, una suma) constituida por una secuencia de periodos sucesivos, de igual duración.

Entonces Faustmann es: $L_0 = R_H - C_a(1+i)^T / (1+i)^T - 1$

Donde:

R_H = Ingresos netos del aprovechamiento de la madera (H) netos de los costes de corta, arrastre y transporte.

C_a = Costos de forestación los cuales se capitalizan del año inicial al año de la rotación (T) usando factor de descuento discreto (1+i).

T = Año de corta.

Aunque más impaciente que el modelo de Fisher, el modelo de gestión forestal de Faustmann es más realista. El modelo de Fisher sólo tiene en cuenta la maximización del valor actual de los ingresos netos obtenidos por la tala de una sola generación. No está preocupado de la influencia que turno de rotación pueda tener sobre estos ingresos. El modelo Faustmann, por otra parte, se ocupa de este aspecto. Cuando se considera el turno de rotación, "la necesidad de plantar la próxima generación de árboles y ver el rendimiento permitirá cosechar más rápidamente la generación anterior" (Faucheux y Noël, 1995, p.197).

Diversos autores como Diaz Balteiro (1994), ha realizado trabajos de optimización del modelo, agregando a este variables de ingreso por subvenciones y otras de ingresos por servicios complementarios no relacionados solo con la producción de madera.

El trabajo desarrollado en este capítulo da cuenta del los turnos óptimos y la rentabilidad de un bosque de tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe y estado de renoval (bosque joven) y susceptible de ser manejado con fines productivos y ambientales.

6.5. Análisis del turno óptimo en escenarios para Secuestro de CO₂ y Conservación de la Biodiversidad en renovales de Roble-Raulí-Coigüe.

Reconocido es el conflicto que surge entre los objetivos económicos (Crecimiento económico) y ecológica (sostenibilidad de los ecosistemas). Este se debe a discrepancias entre el comerciante y las escalas evolutivas de tiempo (Regev *et al.*, 1998). Esa inconsistencia se propaga a través de las tasas de interés de mercado normalmente más elevadas que las tasas de retorno proporcionadas por la inversión en recursos naturales.

La teoría económica convencional ha ignorado la relación entre crecimiento económico y los recursos renovables. Los modelos neoclásicos, en particular, prefieren eludir los límites biológicos para el crecimiento económico evocando al desarrollo tecnológico (Regev *et al.*, 1998). Su intuición habitual es que la principal causa de pérdida de recursos naturales es, por paradójico que pueda parecer, el hecho de no usarlos. Por lo tanto para su conservación, habría que perfeccionar la tecnología y así poder explóralos (Gray, 1914, Regev *et al.* 1998; Amir, 2002).

Obviamente clave de esta conclusión es la premisa de que existe una sinergia entre avances tecnológicos y la tasa de descuento (o interés) (Regev *et al.*, 1998). Como la escala de tiempo de evolución es mayor que las tasas de rendimiento de mercado, las tasa de retorno asociadas a los recursos naturales tienden a ser relativamente bajas.

Si la tasa natural en el que la población de recursos esta creciendo es mayor que la tasa de interés vigente en el mercado, vale la pena dejar creciendo un bosque. Por otro lado si el bosque crece naturalmente más lento que la tasa de interés de mercado, la estrategia económicamente óptima es cosechar lo antes posible el bosque e invertir, con la tasa de interés vigente, el dinero obtenido de la comercialización (Albers in Garfunkel & Steen, 1991).

En realidad, sin embargo, "Son muy pocos los recursos renovables económicamente importantes pueden mantener las tasas de crecimiento (natural) al año por encima del 10%. Al igual que muchos, la mayoría de los bosques, presentan tasas de crecimiento (natural) en el rango del 4% al 5%. Valores como estas e incluso una tasa de crecimiento del 10% están muy por debajo del rendimiento esperado por los inversionistas (en Albers & Garfunkel Steen, 1991).

Una excepción reciente se ha observado en los bosques plantados. En la actualidad, las plantaciones pueden proporcionar tasas internas de rendimiento de más del 10% año. El eucalipto destinado a la producción de madera para celulosa ha proporcionado un tasa interna de retorno de un 10% año (Schneider, 2006).

Por el contrario, las inversiones en activos distintos de los recursos naturales (renovables) operan en escalas de tiempo más corto. Que las tasas de interés (o descuento) sean mas elevadas, hacen que el ritmo de explotación de los recursos naturales acelere (Gray, 1914, Regev *et al.* 1998). El progreso tecnológico permite esta aceleración. El uso intensivo de tecnología permite aumentar el rendimiento. En principio la productividad se eleva, y el crecimiento económico se mantiene. Pero posteriormente, se produce un "círculo vicioso" que conduce a la sobre explotación de los recursos y el colapso de la industria que los utiliza (Regev *et al.*, 1998).

Esta etapa de la investigación se basa en la proposición de que la actividad económica causa daño y beneficios para el hombre y el medio ambiente (Marshall en Maréchal, 1999). En el ámbito económico debe redoblar la atención y el respeto de los procesos que ocurren en la biosfera (Bartoli, 1996; Maréchal, 1999). Para ello, debemos adoptar dos tipos de procedimientos (Maréchal, 1999):

- a) **normas cuantitativas** – son las que garantizan el respeto de la tasa de reposición de recursos renovables y las tasas de fijación de explotación compatibles con las perspectivas de sustitución de un recurso no renovable por otros. Por ejemplo, LULUCF/MDL.
- b) **normas de calidad** - Son diseñados para preservar la pureza del medio ambiente (Atmósfera, hidrosfera, el suelo) la biodiversidad, lo que garantiza la estabilidad los ecosistemas, y la estética de los paisajes o "servicios" (Pearce y Moran, 1994).

El método de manejo bioeconómico que se pretende seguir presenta como función objetivo el valor actual del máximo beneficio económico y biológico.

En obediencia al "principio de economía" (Bartoli, 1996), las curvas deducidas del secuestro forestal de CO₂ no muestran crecimiento puramente biológico. Esto quiere decir, que no se reducen a representaciones estilizadas de crecimiento biológico de una especie en particular, que crece en cualquier lugar estrictamente delimitado (Perman *et al.*, 1996).

El servicio Forestal de fijación de CO₂, mas varios otros (por ejemplo, regulación del ciclo del agua y el microclima, la prevención de la erosión del suelo, etc.), es proporcionado por una diversidad de especies forestales. Desde el punto de vista de la sostenibilidad, la medición de esta diversidad requiere la inclusión de escalas espaciales que superan el dominio específico de una forestación (Chopra & Kumar, 2004).

6.5.1. Las plantaciones forestales y bosques nativos

La explotación de productos forestales y servicios se realiza de diferentes maneras (Chopra y Kumar, 2004):

- a) *por la plantación de árboles*, que tienen por objeto aumentar la oferta de algunos productos o servicio comercializable (por ejemplo, la madera o la fijación de carbono);
- b) *a través de un cambio en la biodiversidad de las poblaciones de los bosques*, que a su vez se traduce en una menor oferta de productos y servicios no comercializable.

Asimismo el tipo de formación forestal (bosque nativo o plantación) es determinante para la biodiversidad. La proporción de la superficie total de bosques plantados en relación con la superficie total de bosque registrada informa sobre condición ecológica de esta biomasa.

Esta relación se asemeja a las tasas de conversión de los bosques (λ_{CF}) (Achard *et al.*, 2005) empleada en estrategia de protección y se calcula por:

$$\lambda_{CF} = \frac{\Delta S_F}{\Sigma S_F}$$

Donde, el numerador, S_F = área del bosques plantados y el denominador, ΣS_F = área total de bosque. .

6.6. Bienes y servicios comercializables y no comercializables

Ciertos tipos de bienes, llamados comercializables, consiguen traspasar fronteras a un costo insignificante o, por lo menos, recompensados. Un ejemplo de esto pueden ser los *commodities* (agrícolas y mineros) negociados a través del comercio internacional. En contrapartida están los tipos de bienes no-comercializables los cuales solo logran traspasar fronteras a un costo prohibitivo. Por ejemplo, ningún consumidor racional importaría un barbero para cortar su barba (Södersten & Reed, 1994).

En general, los *bienes* económicos caen en la categoría de productos comercializables; los *servicios* en la categoría no comercializables. Pero, antes estudiar la captura de carbono como un servicio forestal no comarcializable, es preciso establecer que en este caso, sin dejar de ser un servicio en sí debe incorporar fronteras para convertirse en un objeto de cambio. Tampoco se trata de mover productores y consumidores. Mucho menos se requiere, como para la mayoría de los servicios, que la producción de los bosques se consuma en el mismo lugar donde se produce (Södersten & Reed, 1994). Más bien, es la extracción de materias primas, por ejemplo, *emisiones*, lo que requiere esta movilidad.

En realidad son las emisiones de CO₂ las que cruzan fronteras a un coste cero, aunque la rentabilidad económica de bienes y servicios resultantes no es nula en lo absoluto. Así, a pesar de algunas carencias conceptuales, la captura de CO₂ de los bosques se ajusta a una definición más general del “*comercio de servicios*”.

6.7. Estrategias para la política climática

Las fuentes de producción forestal, se siguen clasificando de la manera más convencional, es decir en dos grandes categorías: a) las plantaciones forestales o los bosques plantados, y b) los bosques naturales o bosques nativos. La primera permite examinar la estrategia de mitigación, que incluye forestación y reforestación (según el IPCC - forestación y reforestación) y, más recientemente, el conjunto de técnicas de manejo forestal conocida como la ordenación forestal sostenible (Gestión Forestal Sostenible).

Todos estos métodos son favorecidos por el MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) del Protocolo de Kyoto. Además, la categoría de bosques nativos se alinea con la estrategia de conservación, recientemente propuesto por la FAO, pero no incluidos en el

MDL. Para Reserva Nacional Malleco, el total de carbono almacenado en estos bosques fue calculado para el año 2002, por lo tanto se considera este dato como línea base en el análisis.

Por último, se acepta que no puede haber producción sin residuos o emisiones, tanto para las actividades económicas como para los ecosistemas. La producción económica se tomara como la principal fuente de emisiones de CO₂, o mas importante los GEI (gases efecto invernadero). Los bosques nativos y plantaciones forestales, se consideran sumideros o pozos, de esas emisiones. A través de la fotosíntesis, son capaces de convertir CO₂ emitido en stock de biomasa.

Dado que los bosques constituyen una alternativa para la captura de CO₂, el crecimiento de las reservas forestales debe mantener el ritmo de cosecha. La "cosecha" este caso corresponde a la utilización (consumo o manejo) antropogénico del servicio biológico de fijación de CO₂ (biocapacidad) que proporcionan los bosques.

Si en una determinada región, los sumideros forestales antrópicamente inducidos, forestación y reforestación, superan en proporción, a sus contrapartes naturales (Bosque nativo), el tratado de Kyoto se transforma en un mecanismos perverso para la mitigación de los daños climáticos (Lohmann, 1999; Schulze *et al.*, 2003; Achard *et al.*, 2005; Moutinho *et al.*, 2005; Santilli *et al.*, 2005; Schoen & Netto, 2005; Mollicone *et al.*, 2006). Las plantaciones forestales en definitiva ponen en peligro la conservación, lo que pudiera refutar la hipótesis de que el MDL alienta a los países a desarrollar proyectos de de mitigación donde los bosques naturales son relativamente más abundantes.

Los bosques naturales que se encuentran en estados clímax, pueden ser calificados como sumideros de carbono, en donde los procesos de captura serian prácticamente nulos con el paso del tiempo (Ometto *et al.*, 2005).

Esta hipótesis se remonta a la búsqueda de la edad de rotación óptima de un bosque natural chileno considerando el servicio ambiental de la fijación de carbono y valorización de la biodiversidad. Desde principios del siglo XX, la quema de combustibles fósiles y la biomasa determinó el aumento constante de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. Sin embargo, cuando se sumaron las emisiones provenientes de estas fuentes, se constató que superaban *el balance de dióxido de carbono* acumulado en la atmósfera, considerando lo absorbido por los océanos y la biomasa terrestre. Esta discrepancia entre las fuentes y sumideros a

nivel mundial originalmente fue llamado "el sumidero de carbono perdido" (Ometto *et al.*, 2005).

Pronto la comunidad científica se comenzó a preguntar dónde podría estar ese sumidero perdido. Algunas hipótesis especulan que los océanos podrían absorber más CO₂ de los que se pensaba originalmente. Otros sugirieron que el carbono "perdido" fue absorbido por los ecosistemas terrestres, a través de fotosíntesis. Siempre ha sido difícil, precisar la magnitud y distribución de esas fosas terrestres (Ometto *et al.*, 2005).

A finales de 1990, surgieron evidencias de que en los bosques templados, la regeneración de las especies pertenecientes a la sucesión secundaria reforzaba las fosas terrestres de carbono.

En los trópicos, la alta densidad de la biomasa en los bosques de esta región aumentó la sospecha de que podrían representar sumideros de proporciones considerables. Las primeras mediciones realizadas en la Amazonía, durante los años 1990, llegó a la conclusión que los bosques de la región actúan como gigantescos sumideros de carbono. Así, si las selvas tropicales del planeta en realidad actúan como enormes sumideros, el misterio geográfico de los "sumideros de carbono perdido" estaría finalmente resuelto (Ometto *et al.*, 2005).

Sin embargo, muchos investigadores se mostraron escépticos en cuanto a la verdadera magnitud de estos sumideros. Por un lado, los bosques tropicales almacenan una gran cantidad de carbono en su biomasa. Por otra parte, ellos registran grandes flujos anuales a través de la fotosíntesis, respiración, descomposición y los incendios. Así, aunque significativo, el papel de los bosques tropicales en el ciclo global del carbono se mantuvo ambiguo. Potencialmente, actuarían tanto como sumideros y como fuentes (Ometto *et al.*, 2005).

6.8. La biodiversidad

Hoy día la explotación racional de los recursos naturales y ambientales se ha incrementado considerablemente; sin embargo, la explotaciones forestales siguen teniendo, consecuencias negativas sobre la biodiversidad dentro del bosque. Ello implica que, aunque el concepto de desarrollo sostenible sea recurrente y de conocimiento mundial en todos los ambientes políticos, académicos y científicos, aún no se ha internalizado en términos prácticos su verdadero significado.

La biodiversidad es un estabilizador ecológico dentro del contexto de desarrollo sostenible, porque mientras mayor sea la diversidad del ecosistema, las especies y los genes, los sistemas biológicos tendrán mayor capacidad de mantener la integridad de sus relaciones básicas.

Es esta capacidad de los sistemas biológicos la que asegura su permanencia a lo largo del tiempo. Es por esta razón que la conservación de la biodiversidad debe ser considerada como un elemento esencial de cualquier propuesta de desarrollo sostenible (Holling, 1994; Claro *et al.*, 1996).

La importancia de la biodiversidad desde el punto de vista ecológico, es que esta mantiene el equilibrio de funciones vitales para la vida de las especies, incluyendo al ser humano. Además desde el punto de vista socioeconómico, esta brinda el sostén en términos de materias primas para procesos productivos o bienes para el consumo y servicios ambientales.

Algunos autores plantean que funciones ambientales y servicios ambientales son términos equivalentes. No existe una definición y clasificación única sobre los servicios ambientales. Aunque autores como Huetting (1990) establecen una diferencia entre servicios ambientales, funciones ambientales y bienes ambientales.

Es así como se define bien ambiental como un producto de la naturaleza directamente aprovechado por el ser humano, las funciones ambientales o ecológicas como las distintas formas de uso de la naturaleza por los seres humanos, y servicios ambientales como la potencialidad de estos productos de ser usados por el ser humano para su propio bienestar. Autores como De Groot (1992) consideran que los ecosistemas proveen solamente funciones reguladoras, productivas, portadoras e informativas.

Es muy importante lograr entender la forma como la sociedad percibe los usos de los flujos de servicios ambientales provenientes de un ecosistema, de sus especies y de su material genético. El potencial de la biodiversidad es de suma importancia en el desarrollo sustentable futuro en base a nuevas alternativas de uso, especialmente en lo referente a los recursos genéticos, las plantas medicinales para la obtención de nuevos fármacos y los microorganismos, el ecoturismo, la agricultura en base a las especies nativas, la cría de animales para diversos fines y el manejo forestal, entre otros.

La Figura 25 nos muestra en forma esquemática los servicios que presta la biodiversidad en las tres dimensiones: genes, especies y ecosistema.

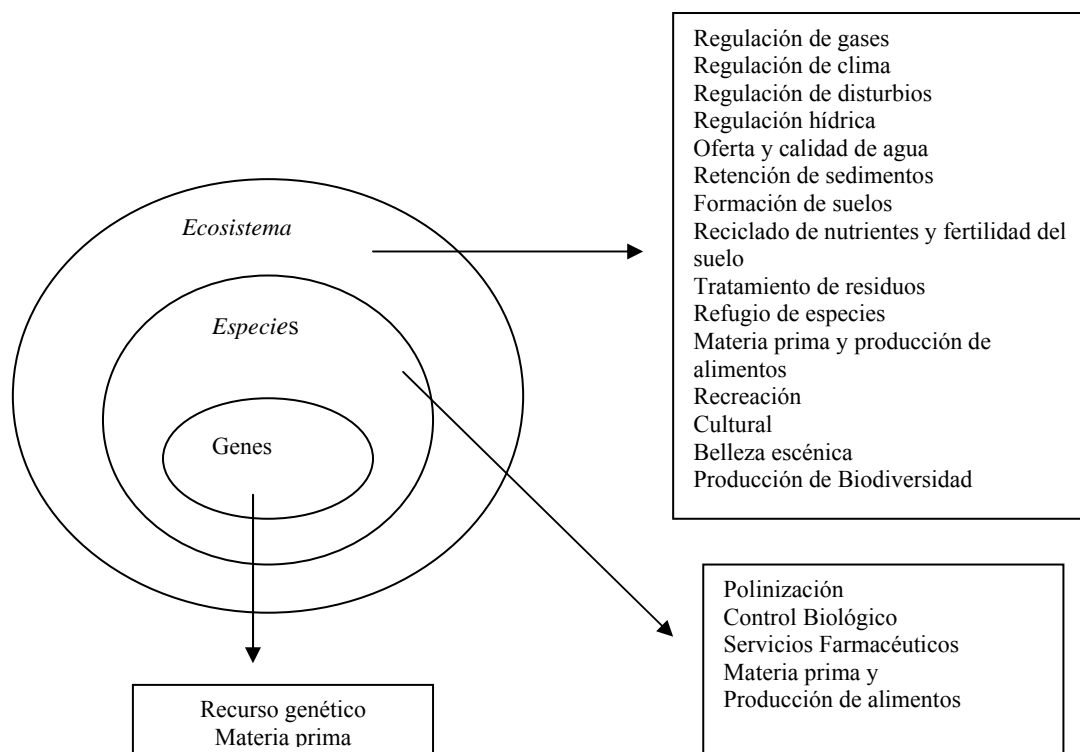


Figura 25. Estructura analítica para los servicios que ofrece la diversidad biológica al sistema económico y social.

Fuente: Adaptada de Barrantes (2001).

6.9. Valoración de los ecosistemas forestales

El reconocido desequilibrio en la relación entre economía y ambiente, ha provocado incluso que en este último siglo que en gran medida el crecimiento económico conseguido ha ido desmedro del entorno ambiental. El principal problema económico que enfrenta una sociedad es la asignación de recursos, esto ha permitido reconocer con facilidad la mala asignación de los recursos (capital, trabajo, recursos naturales, etc.). Este problema tiene su explicación en la economía, aquí recibe el nombre de competencia imperfecta, en la cual encontramos fenómenos como los monopolios, oligopolios, monopsonios, problemas de información, externalidades, intervención del gobierno a través de impuestos, subsidios directos y cruzados, controles de precios, cuotas o listas para la importación, etc.

La no existencia de mercados específicos de intercambio hace que la mayoría de los recursos naturales y bienes ambientales carezcan de precio. Situación que podría deberse a la ausencia de derechos de propiedad bien definidos y protegidos. Sólo aquello sobre lo que se tiene un derecho de exclusión puede ser objeto de compraventa (Barrantes y González, 2000).

La inexistencia de mercados para intercambio de algunos bienes, los imposibilita de la existencia de asignación de algún tipo de precio. Estos bienes son conocidos como los bienes públicos, recursos o bienes comunes o en términos más generales, simplemente llamados *externalidades*¹. Por esta razón es que se hace importante establecer indicadores monetarios o de cualquier tipo para esta clase de bienes y servicios, sean reconocidos como importantes dentro de la sociedad.

Los bienes públicos, vienen caracterizados por dos propiedades fundamentales:

a) *no exclusión*, es decir que, cuando el bien en cuestión se ofrece a una persona, se ofrece a todas. En otras palabras, no puede excluirse a nadie de su disfrute, aunque no pague por ello². Por lo tanto, los bienes públicos no pueden ser racionados a través de un sistema de precios.

b) *no rivalidad en el consumo*, es decir que cuando alguien consume el bien o lo disfruta, no reduce el consumo potencial de los demás. En otras palabras, el hecho de consumir el bien no reduce su disponibilidad (por ejemplo, la información meteorológica, la protección de los parques nacionales y playas, la señalización de calles y carreteras, etc.).

La no existencia de regulación de los recursos comunes, con respecto a su utilización, provoca que impere la ley de captura³, con su concerniente riesgo de agotamiento o desaparición. Esta característica es compartida en la actualidad por el medio ambiente y en general muchos de sus recursos naturales. El sistema tradicional de mercado actualmente no proporciona ninguna indicación con respecto al valor de los mismos, lo que lleva a considerarlos en muchos casos como gratuitos, o que su uso o consumo no tenga coste, en definitiva esto lleva a una sobreexplotación y mala asignación de los recursos.

(1) En general, una externalidad se presenta cuando la actividad de una persona o empresa afecta el bienestar de otra, sin que se pueda cobrar un precio/compensación por ello. El ruido, por ejemplo, disminuye el bienestar de todos los que están en los alrededores, sin que (en ausencia de una reglamentación gubernamental) puedan exigir al causante una compensación (precio) por la externalidad negativa recibida. Lo contrario podría ocurrir cuando alguien protege un bosque, una playa o un páramo, y permite el deleite o satisfacción del resto de las personas, sin que estas últimas paguen por ello. Lo esencial, en un sistema tradicional de mercado, es que quien genera una externalidad negativa no tiene que pagar por ello a pesar del perjuicio que causa, así como quien produce una externalidad positiva no se ve recompensado monetariamente.

(2) En términos microeconómicos, esto podría explicarse debido a que el coste marginal de ofrecérselo a una persona adicional es cero.

(3) El primero en llegar se apropia del recurso, sin tener que preocuparse del resto (Barrantes y González, 2000).

La acción antrópicas ha repercutido negativamente en el medio ambiente, esta situación llama a considerar, dentro de la toma de decisiones económicas, la problemática derivada de las relaciones entre la economía y el ambiente, reconociendo además que la actividad económica no podría existir si no existiera un medio ambiente en donde desenvolverse.

No ver con claridad la necesidad de mantener un balance en el uso sustentable de los recursos ha producido la pérdida de biodiversidad y de otros recursos naturales. Incluso, ya reconocida esta necesidad, aún existen limitaciones (técnicas, metodológicas, de conocimiento, etc.) que hacen difícil alcanzar dicho equilibrio. Valorizar económicamente la biodiversidad en los bosques nos permite contar con un indicador de su importancia en el manejo de masas forestales, permitiendo esto su sustentabilidad. Aquí radica la importancia de encontrar un denominador común, que ayude a integrar unos elementos con otros. Este denominador común no es otro que el dinero.

6.9.1. Los bienes forestales

Es cierto que la mayoría de los servicios ambientales son intangibles; sin embargo a continuación analizaremos algunos bienes que tiene la característica de ser tangibles, por tanto susceptibles de ser cuantificados y comercializados, situación que los posibilita de poder asignarles un precio de mercado, permitiendo con esto una estimación precisa de los ingresos generados por el aprovechamiento de los mismos.

6.9.2. El agua

El agua considerado como insumo de producción es consumido por distintas actividades económicas en sus respectivos procesos productivos. Su consumo esta medido en ($m^3/año$) por el cual se debería pagar un precio específico. La variada utilización del permite que el comprador del bien puede aplicarlo en lo que más le interesa, como lo señalan Barrantes y Castro (1999^a).

6.9.3. Madera

El error de considerar al bosque sólo por la madera que produce, nos lleva a la subutilización y a la subvaloración del mismo. La existencia de una amplia variedad de flujos de bienes y servicios que benefician a la sociedad y lo que agrega un valor al bosque. Es así como encontramos el caso de la belleza escénica para la industria ecoturística; el recurso hídrico, cuyo beneficio incluye a todos los sectores de la economía y al sector doméstico en general; encontramos también la regulación de gases de efecto invernadero, que beneficia a la comunidad nacional e internacional; la conservación de suelos, que mantiene su productividad y reduce riesgos; la disponibilidad de material genético (germoplasma) para la investigación científica; la provisión de productos alimenticios y medicinales, entre otros. (Barrantes, 2001)

Que los beneficios no-maderables del bosque no sean cuantificables, tiene como resultado que los propietarios no poseen ninguna motivación para proveerlos a no ser que de alguna manera seña a hacerlo. De igual forma, las instituciones forestales oficiales subestimarán la importancia de los mismos, ya que generalmente no presentan posibilidades de obtener beneficios económicos, como empleos o impuestos comparables a los de las actividades agrícolas y forestales tradicionales, que crecen en forma sostenida y paralela al desarrollo económico (FAO, 1997), (Sedjo y Lyon, 1990).

6.9.4. Productos no maderables

A los productos no maderables del bosque tradicionalmente no se les ha prestado mayor atención, en parte esto se debe a el tiempo de retorno de la inversión, existen varios estudios que sostienen que su valor podría superar en el largo plazo al de la madera. Aunque no existe un consenso de que el uso sostenible de los no maderables cubra el costo de oportunidad de la actividad maderera

6.9.5. Servicios económico-ambientales del bosque

La venta y reproducción de especies no debe considerarse como el único uso económico de la biodiversidad producto de una explotación sostenible. Aún hoy muchos de los servicios ambientales no tienen valor de mercado, y podría pasar algún tiempo para que se desarrollen mecanismos de precios para los mismos. Azqueta (2000) señala que estos

servicios se derivan indirectamente de las funciones que cumple el bosque por su sola existencia con respecto a la capacidad de resiliencia, diversidad y equilibrio del ecosistema global, y a la protección de otro tipo de elementos, y las que pueden ser listadas de la siguiente forma:

I) Erosión y protección de cuencas: La presencia de un bosque supone una prevención de la erosión, como también la protección de las cuencas fluviales, esta situación representa una serie de beneficios indirectos que tienen un innegable valor económico, entre los cuales se destacan:

- a) La prolongación de la vida útil de infraestructuras viales, residenciales, industriales, etc.
- b) El mantenimiento de la productividad de los suelos agrícolas, y la defensa de los cultivos existentes ante el viento y la erosión.
- c) El suministro de agua de una determinada calidad, tanto para consumo humano como susceptible de otro tipo de aprovechamientos.

II) Control de inundaciones y deslaves: Regular los flujos hidrológicos es considerado también como un servicio ambiental de los bosques. Son varios los países que presentan como gran problema económico la degradación de su infraestructura física a causa de los picos de agua que bajan torrencialmente en zonas de laderas, provocando inundaciones en los valles. Esta inundación se genera debido a que las cabezas de agua superan la capacidad de los cauces naturales para drenar el agua hacia los océanos. Estos picos de agua se dan en parte, precisamente, como resultado de la deforestación y la eliminación de la biodiversidad asociada con la retención de agua proveniente de las lluvias, la cual si existiese una buena cobertura boscosa sería retenida y drenada lentamente a las partes más bajas de la cuenca. Es así como pasa a ser de mucha importancia la presencia de bosques en cuencas adyacentes a poblados, los cuales proveen de un servicio ambiental cuya inexistencia podría compararse con el valor de los costos destructivos en la infraestructura física y social provocada por este tipo de desastre natural (Burneo y Albán, 2001).

III) Preservación de la biodiversidad: Variadas son las funciones que cumple la biodiversidad dentro del ecosistema y a la vez produce innumerables beneficios por su riqueza como fuente de materia prima e ingredientes para la producción química, industrial y de medicamentos. Si bien presenta importantes complicaciones en el momento de calcular sus beneficios en términos económicos, atrae fuertes inversiones de empresas farmacéuticas, entre otras iniciativas (Azqueta, 2000).

IV) Regulación del clima: El bosque juega un importante papel en la regulación del clima en el ámbito local. Aunque no es del todo comprendido, ese papel se refleja en una serie de aspectos que tienen una indudable traducción económica, como la productividad de la agricultura en función de la provisión de humedad y agua de lluvia (Azqueta, 2000).

V) Producción de oxígeno y secuestro de carbono: La vegetación del bosque brinda un servicio ambiental globalmente reconocido, que consiste en producir oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis, por medio del cual el dióxido de carbono (CO_2) es fijado por las plantas verdes como biomasa orgánica. De esta forma, se obtiene el beneficio ambiental de reducción de la concentración excesiva de dióxido de carbono, lo que disminuye el efecto invernadero, cuyas consecuencias económicas y humanas pueden ser incalculables. Sin embargo, a pesar de que este servicio beneficia a la comunidad local, nacional e internacional, su pago es generalmente más aceptado por países industrializados, ya que son los que más contribuyen a aumentar el riesgo del efecto invernadero.

Es en la biomasa y en el suelo donde el bosque fija carbono, mediante las aguas de escorrentía evacua grandes porcentajes de carbono, esto provoca la lentitud en la oxidación biológica del carbono que se encuentra dentro y sobre la superficie del suelo (Burneo y Albán, 2001).

Barrantes (2001) señala que existen algunos requerimientos básicos para realizar la estimación de los ingresos por el servicio de regulación de gases de efecto invernadero. Por un lado, se debe conocer el volumen (ton/ha/año) que pueden secuestrar los distintos tipos de bosques en el país, y por el otro, conocer el precio (\$/ton) que se puede cobrar por el servicio de secuestro de gases. Al establecer este precio se necesita saber el total de hectáreas que se someterán a la prestación del servicio de secuestro de gases.

VI) Calidad del agua: La capacidad de retención de agua que poseen los bosques se puede medir en parte por la cantidad de metros cúbicos que fluyen por los cauces superficiales de los ríos y quebradas a finales de la época seca.

En términos cualitativos, se podrían considerar los beneficios de la presencia de bosques en términos de calidad de agua. No obstante, la permanencia de la oferta de agua no tendría utilidad para el hombre si económicamente no existiesen usuarios para ella. Estudios de este recurso se pueden encontrar en Hardner (1999), Barrantes (2000), Barzev (2001).

VII) Belleza escénica: La belleza escénica ofrece servicios de disfrute y distracción a nacionales y extranjeros. En tal sentido, los diversos ecosistemas individuales y su conjunto constituyen un atractivo para el turismo recreativo y científico (Barrantes y Castro, 1999).

Los ecosistemas forestales, en especial el tropical, se han convertido en estos últimos años en un atractivo con mucho potencial para la actividad turística, sobre la base de las características que demandan este tipo de servicios. Esta situación puede convertirse en la base del desarrollo de una industria limpia basada en el turismo de naturaleza con indudables efectos multiplicadores sobre la economía de la zona en la que está ubicada y del país en el que se desarrolle (Barrantes, 2001). Ejemplos latinoamericanos en los que se muestra la importancia de este servicio pueden encontrarse en Tobías y Mendelsohn (1991), Galvin (2000), Díez Galindo (2001) y Portilla (2001), entre otros.

6.9.6. Índices de diversidad

Para las especies arbóreas se calculan índices de biodiversidad relacionados con la composición tales como los índices de Shannon, Margaleff, Menhinick y Berger- Parker (Tabla 27), relacionados con la estructura del bosque, y para la estructura horizontal la desviación típica del diámetro (Rojas, s.f). El análisis de la biodiversidad se hizo a partir de la información disponible del inventario general de carbono. Se planteó analizar la biodiversidad en un enfoque de ecosistema no dejando de lado el enfoque productivo que tiene nuestro manejo, considerando así un análisis de la biodiversidad composicional. La biodiversidad composicional se realizó para las especies del estrato arbóreo (especies mayores a 10 cm de DAP).

Este estudio describe un hábitat o comunidad en particular (Renovales de Raulí y Coigüe) por lo que se consideraron índices de biodiversidad, que representen la riqueza de especies y la abundancia proporcional.

Índice	Formula	Variables
Índice de Riqueza específica (S)	Riqueza = S	S : Número de especies N : Número total de individuos
Índice de Margaleff	$Margalef = S - 1 / LnN$	
Índice de Menhinick	$Menhinick = S / \sqrt{N}$	

Tabla 29: Formas de cálculo de los índices de diversidad que se utilizarán en este estudio (Rojas, s.f.).

Autores como Rojas y Solana, S.F. (2007), realizan un análisis de información de inventario de renovales en la Comuna de Lanco, buscando la determinación de correlación entre los diversos elementos que componen los bosques. Como resultado en la valoración de biodiversidad, obtiene una mayor significancia estadística en la relación existente entre la altitud y pendiente, confirmando que los lugares más lejanos a la influencia antrópica presentan mayor diversidad. Los resultados también nos indican que la baja diversidad de este tipo de bosques responde a su actual estado de desarrollo. La nueva legislación chilena sobre manejo de bosques autóctonos, precisa de la elaboración de modelos de gestión de renovales de este tipo de bosques que permitan valorar económicamente la producción de madera y el mantenimiento de la biodiversidad. El valor de la biodiversidad se obtiene de un modelo de gestión y asignación de usos, basado en la programación lineal, que incorpora restricciones relativas a la producción de madera y al mantenimiento de la biodiversidad. De esta manera se logra dar un valor monetario a índice obtenido, para finalmente expresarlo en términos de valor neto presente.

(Veblen 1985 citado por Donoso 1993), menciona que pueden ser más de 10 años los que se debiesen esperar para el establecimiento de la regeneración en renovales de Roble-Raulí-Coigüe, ya así conservar su biodiversidad, en este tiempo los índices no sufrirán considerables variaciones.

Si dentro del manejo consideramos la diversidad, se esta asegurando el enriquecimiento y variación en la diversidad, acelerando el proceso de establecimiento de regeneración.

6.9.7. Evaluación económica

Uno de los objetivos de esta investigación plantea la posibilidad de obtener beneficios económicos a partir de un bosque joven de Roble-Raulí-Coigüe, los productos considerados como meta productiva serán madera aserrada, debobinable y leña como fuente de energía calórica.

Para esta la evaluación económica de renovales de la reserva Malleco se consideraron las especies de mayor interés y valor económico como los son el Coigüe y Raulí, dadas sus características madereras y su presencia en cada uno de los rodales. Los árboles muertos fueron considerados a valor económico igual a cero y contabilizados solo como nichos ecológicos para la sobrevivencia de fauna y flora.

Un análisis económico tiende a asumir que una unidad de beneficio o costo es más importante en el momento presente que en el futuro.

Se realizará para el manejo propuesto el cálculo del VAN, con el objetivo de conocer la liquidez inmediata y el valor del bosque en pie.

	Año	Extracción (n/ha)	Densidad (N/ha)
<i>Plantación</i>	0	0	1118
<i>Primer Raleo</i>	45	479	639
<i>Segundo Raleo</i>	65	190	449
<i>Cosecha Final</i>	80	100	349

Tabla 30: El manejo diseñado para cálculo de turnos óptimos de Reserva Malleco.

Se debe considerar que en las faenas de cosecha de bosque nativo se destaca el costo de mano de obra, esto por las condiciones de clima y el tipo de contrato de trabajo de las faenas forestales en Chile (temporeros). Se valorizarán los productos a valor de mercado proporcionados por Drake y Cia (Tabla 31).

Producto	Precio	Unidad
Metro ruma leña	23,50	€/metro ruma
Pulgada Aserrada de Raulí	22,05	€/pulgada
Pulgada Aserrable de Coigüe	22,05	€/pulgada
Madera pulpable Nativo	14,70	€/pulgada

Tabla 31.- Precios de productos en la Comuna de Temuco (Precios de los productos puestos a orilla de camino).

De	Por	
Metro cúbico	43,37	Pulgada maderera
Pulgadas madereras	0,0236	Metro cúbico
Metro ruma	1,66	Metro cúbico

Tabla 32. Factores de conversión (Prodan *et al*, 1997).

Son considerados dentro de los valores de los productos, el costo de extracción, dicho costo es de 8,80 € por pulgada maderera en un aserradero portátil, este costo debe descontarse generando una modificación del precio promedio desde 3,30 € en Coigüe a 2,49 € y para el caso de Raulí desde 3,23 € a 2,42 € por pulgada maderera.

En la primera intervención solo se removerá una baja cantidad de este producto por la baja calidad de los árboles.

Costo (ha)	(N/ha)	Valor (€/ha)
Enriquecimiento	830	500,6
Forestación	1250	757,19
Administración	Anual	44,45

Tabla 33. Tabla de Costos (CONAF, 2007)

Según procedimiento de pago de Corporación Nacional Forestal (CONAF), en lo que respecta a bonificaciones, certificación y otros, el ingreso de la bonificación es de una vez por rodal. La bonificación se adjudica una vez que se aprobada la norma de manejo o plan de manejo. Se entrega la bonificación una vez que el raleo sea efectivo, es aproximadamente € 102,93 por ha.

Dentro de los costos asume gran importancia el cercado de los rodales, esto porque la presencia de animales de pastoreo en los deslindes de la finca seria perjudicial en el manejo de los renovales, puntualmente en el caso del manejo de diversidad, la cual considera costes de enriquecimiento. Otros costos de relevancia en la evaluación económica se señalan en la tabla 34.

Actividad	Unidad	€
Cosecha Final	m ³	4,41
Sueldo Jornalero	día	16,25
Productividad Jornada	m ³	6,6

Tabla 34. Costos de relevancia (Drake y Cia 2010) *

* Comunicación personal.

6.10. Análisis de capacidad de Secuestro de CO₂ de un renoval de Roble-Raulí-Coigüe manejado

6.10.1. Superficie disponible de bosque nativo para manejo sustentable

Existen 13,1 millones de hectáreas de bosques autóctonos chilenos, sin embargo, a esta superficie debemos descontar las superficies que de acuerdo a criterios técnicos, ambientales y de propiedad nos pueden ser intervenidas en el corto plazo, es así como obtenemos la superficie potencialmente disponible para el manejo sustentable entre la VII y XII regiones (Tabla 33).

Las superficies que aun no pueden considerarse para un manejo sustentable son las correspondientes a Áreas Silvestres Protegidas (Parques Nacionales y Reservas Nacionales), superficie de bosque nativo con estructura Bosque Achaparrado, superficie de bosque nativo con altura menor a 8 metros, superficie de bosque nativo con Cobertura "Abierto", superficie de bosque nativo en pendientes mayores a 60% y la superficie de bosque nativo en zonas de protección (buffer cursos de agua:30 m a ambos lados de la rivera).

Región	Tipos Forestales						Total
	Coigüe de Magallanes	Coigüe-Raulí-Tepa	Lenga	Roble-Raulí-Coigüe	Roble-Hualo	Siempreverde	
VII	-	-	-	84.375,31	76.907,46	-	161.282,77
VIII	-	40.198,26	-	290.044,28	-	-	330.242,54
IX	-	62.729,84	-	270.150,72	-	5.131,45	338.012,01
X	-	281.026,77	-	245.122,06	-	96.835,17	622.984,00
XI	226.025,79	-	469.814,18	-	-	-	695.839,97
XII	228.668,98	-	630.634,93	-	-	-	859.303,91
Total	454.694,77	383.954,87	1.100.449,11	889.692,37	76.907,46	101.966,62	3.007.665,20

Fuente: INFOR; 2005.

Tabla 35: Superficie de bosque nativo potencialmente disponible para Manejo Sustentable, según Región y Tipo Forestal (ha).

En Chile la cantidad de madera sólida presente en los bosques naturales es de 1.050 millones de m³, los cuales se encuentran distribuidos entre la V y XII regiones, de este total el 53% correspondería a combustible, un 34% a madera aserrable y 13% a madera industrial (INFOR, 2005).

De todo este volumen el 67% (703.500 m³) se encontraría entre la VII y X regiones, área que, de acuerdo a sus condiciones de accesibilidad, infraestructura vial, portuaria e industrial, tendrían las mejores posibilidades de incorporar el recurso a la economía nacional.

En el año 2004 el sector forestal chileno exportó un total de US\$ 3.396,6 FOB lo que significó una participación del 10,6% en el total de las exportaciones del país (INFOR, 2005). En el año 2007, las maderas nativas exportadas alcanzan los 17,8 millones de dólares (0,4% del total exportado del sector forestal), principalmente de la especie lenga (*Nothofagus pumilio*). Las exportaciones corresponden mayoritariamente a madera aserrada y muebles (INFOR 2008). Durante el año 2008 el sector exportó 5.452 millones de dólares y en el año 2009 4.162 millones de dólares (INFOR 2010). Entre enero y febrero del 2010 esta cifra ya había llegado a los US\$ 793,6 millones (Lignum, 2010). Estas estadísticas reafirman la importancia del sector forestal dentro de la economía nacional.

6.10.2. Productos del bosque nativo chileno

La variada diversidad ecológica, socioeconómicas y culturales existentes en Chile, no permiten definir una utilización puntual del recurso nativo, por parte de la población. En términos muy globales la función de producción del bosque nativo en general incluye madera debobinable, aserrable e industrial destinada esta última a la producción de astillas, de leña y de carbón vegetal (CONAF-GTZ, 1996), además de los productos no madereros asociados a la existencia y utilización de estos bosques, como lo es la capacidad de fijación de carbono de las especies forestales autóctonas susceptibles de ser manejadas sustentablemente.

El bosque nativo en su estado adulto y los renovales en particular, son capaces de satisfacer la creciente demanda de materias primas para la producción primaria y secundaria con especies autóctonas. El balance forestal determinado por Altamirano (1995) para el año 1990, concluyó que el aprovechamiento en ese periodo correspondió solo a un 50% del crecimiento productivo de la masa boscosa, debido a que la cosecha se concentró en las áreas cercanas a las redes camineras; producto de esto el crecimiento se acumuló en sectores menos accesibles y buena parte de aquel se perdió a causa de procesos naturales.

Si se considera el tipo de bosque y la estructura que éste posea, los propietarios de Bosque Nativo son capaces de ofrecer volúmenes considerables y controlados mediante un uso sustentable de distintos tipos de productos, como lo son:

- Trozos debobinables.
- Trozos aserrables. (Muebles)
- Trozos pulpables
- Leña.
- Carbón vegetal.
- Productos Forestales no-madereros.

Las proporciones de cada producto se sitúan de acuerdo a la situación local en términos de tipo de bosque, accesos a mercados, requerimientos monetarios de los propietarios, infraestructura vial de los predios y capacidad de gestión del propietario.

6. 10.3. El stock acumulado en los productos exportados

El plan de ordenación de la reserva esta orientado a un manejo sustentable de los renovales de Roble-Raulí-Coigüe, en definitiva explotar lo que corresponde al crecimiento natural de este tipo de bosques. Los productos de la explotación serán exportados del bosque, por lo que sea cual sea el producto final en que se conviertan, seguirán constituyendo una reserva de carbono. La durabilidad de esta reserva varía en función del tipo de producto, y de la utilización que se hace de este producto.

La madera exportada esta compuesta de la madera aserrable, la cual se utiliza en construcción de viviendas y de muebles, y de los productos secundarios, como la leña y el material pulpable, los cuales tienen esperanza de vida más corta.

Los productos producidos con la madera aserrable constituyen una reserva de carbono a largo plazo (puede ser más de 100 años), pero los productos secundarios serán rápidamente quemados o destruidos, emitiendo en la atmósfera el carbono que contienen. El stock acumulado en los productos aserrables será considerado como reserva de carbono a largo plazo, mientras el stock acumulado en los productos secundarios será rápidamente emitido en la atmósfera.

Cosecha	Objetivo principal	Edad de madurez	Año de ejecución	Cortes	Intervenciones en Renovales	Intervenciones en maduros	Año Cosecha final
1	Producción	45 años	2002	Turno	6 años	8 años	2035
				Intensidad en % AB	50% en BR 35% LA 25% LA-FU	25% en MEJO 20% en PREPA	50%
2	Producción con restricciones	65 años	2022	Turno	6 años en LA 8 años en FU	10 años	2035
				Intensidad en % AB	50% en BR 35% LA 25% LA-FU	20%	50%

Tabla 36: Planificación de manejo previsto para rodales en estudio.

La intensidad de los cortes, que sean de raleo o de cosecha final, se expresa en porcentaje del área basal, la cual se relaciona directamente con la cantidad de carbono. Esta planificación de corta permitirá recuperara el 90% del carbono exportado en cada intervención, El 10% de carbono contenido en las raíces será sistemáticamente perdido, dejado en el bosque. La actividad de corta se realizó con personal capacitado y especializado en calidad de la explotación, particularmente al nivel del aprovechamiento de la madera. Se supone entonces que los tocones dejados en el bosque son muy pequeños.

El cálculo de la cosecha I en el año 2002, se realizo teniendo como objetivo principal la corrección de la masa boscosa, bajo un criterio productivo múltiple y el establecimiento de una línea base. Se considera que los rodales cumplirán todo un ciclo de producción, y volverán a su mismo estado.

De la información levantada luego de ejecutada la cosecha I, se estimo mediante simulación los resultados del método de manejo para la cosecha II, tanto en lo productivo en relación a madera y en la evolución de su capacidad de fijación de carbono a los 80 años. Esta simulación se realizo con simulador NOTHO^{Note1}

Los parámetros ingresados para simulación fueron los siguientes:

- 50% del carbono aéreo de los brinzales;
- 35% y luego dos cortes de 25% del carbono aéreo en los latizales, lo que corresponde en total a los 85% del carbono de los latizales en total,
- tres cortes de 25% en los fustales, lo que corresponde a los 75% del carbono aéreo de los fustales,
- un corte de 25% y otro corte de 20% en los maduros, lo que corresponde a los 45% del carbono aéreo de los maduros,
- dos cosechas finales de 50%, lo que corresponde a 100% de los sobre-maduros si la explotación se hace sobre masas actualmente adultas, o 100% de los maduros si la explotación se hace sobre otras masas.

La tabla 37 muestra el carbono existente en el renoval antes de cosecha I en cada uno de los estados de desarrollo.

Estado de desarrollo	Superficie en ha	Valores de carbono en Ton/ha	Carbono/Ton antes de cosecha I
Desarbolado	272,5	0	0
Regeneración	202,9	14,8	3.002,9
Brinzal	550,6	41,8	23.015,9
Latizal	3223,9	97,3	313.717,8
Fustal	1266,5	115,2	145.900,8
Maduro	1636,4	125,3	205.040,9
Sobre-maduro	3540,6	172,6	611.107,5
Total	10.693,4		1.301.785,8

Tabla 37: Carbono contenido en los árboles antes de la cosecha I.

Un bosque adulto tiene un balance de carbono nulo, es decir que el stock acumulado restado a la atmósfera y almacenado en la biosfera es igual al stock emitido a la atmósfera por descomposición de los árboles muertos.

Para comparar el escenario a evaluar con el escenario de referencia se deberá determinar la diferencia de stock acumulado producido en cada turno de corta propuesto.

Se calcularán el stock acumulado durante 2 períodos de ordenación o cosechas, la primera será a los 45 años, la segunda a los 65 años y una cosecha final a los 80 años, la cual corresponde a la edad de madurez del Raulí y del Coigüe, las dos principales especies de producción en la RN Malleco. Estos 80 años corresponden a un ciclo de producción previsto por el plan de ordenación.

Se orientó el trabajo en dos direcciones:

- Cálculo del stock acumulado de carbono después de 80 años sin intervenir.
- Cálculo del stock acumulado de carbono después de 80 años con intervención según el método de manejo propuesto considerando todos los productos exportados de las intervenciones y su capacidad de captura de carbono.

6.10.4. Análisis de dos escenarios propuestos: Con y Sin intervención mediante el modelo CO2FIX

El modelo de simulación CO2FIX Versión 3.2 es una herramienta diseñada para cuantificar el equilibrio del carbono tanto en los ecosistemas boscosos y no boscosos. Es un modelo de cohorte múltiples, a escala adaptable a cualquier ecosistema y que se le aplican a diversas situaciones, como los son la forestación, agrosilvicultura y los sistemas de aprovechamiento selectivo.

En el modelo, una ‘cohorte’ se define como un grupo de árboles individuales que se presume presentan un crecimiento similar y que podrían tratarse como una sola entidad dentro del modelo. Los parámetros que se deben considerar cuando se opera el modelo incluyen la biomasa inicial, el crecimiento y la mortalidad de la cohorte y las interacciones entre la cohorte y dentro de ésta. El modelo CO2FIX tiene varios componentes, que se describen a continuación.

I) Modelos de biomasa y suelo: El modelo representa todas las existencias de carbono en la biomasa viva, (aérea y subterránea). Los métodos básicos para la simulación del crecimiento del bosque son: (a) crecimiento arbóreo en función de la edad del árbol o cohorte; y (b) crecimiento del árbol en función del tamaño del árbol (por ejemplo, área basal, volumen o biomasa).

Como base de datos para el cálculo de los distintos componentes de la reserva y su potencial en captura de carbono, se utilizaron datos recogidos en inventario de carbono del año 1998.

Cuando la edad de una cohorte es conocida, con frecuencia el crecimiento de la biomasa se simula en función del tiempo. Por otra parte, el crecimiento de la biomasa se simula en función del incremento del diámetro cuando la edad de la cohorte es desconocida. La mortalidad de cada cohorte puede describirse de dos formas: mortalidad debido a la vejez del árbol y a la competencia relacionada con la densidad y mortalidad causada durante y después del aprovechamiento.

Para cada cohorte, se definen los parámetros de la entresaca y la corta final. La información que se precisa para cada cohorte incluye: edad cuando se realiza el aprovechamiento; la intensidad del aprovechamiento (fracción extraída de la biomasa de la cohorte); y la asignación de la biomasa extraída en las diferentes clases de materias primas de los desechos forestales, madera de trozas, postes y leña.

Los información necesaria para el modelo del suelo, son la temperatura promedio anual, la precipitación en la zona de crecimiento y la evapotranspiración potencial en la zona de crecimiento.

II) Modelo del producto: El modelo del producto calcula las existencias de carbono en el producto desde la extracción hasta el deterioro final. Se tiene en cuenta la vida útil del producto, su propósito y la porción que extrae del árbol.

El modelo de la bioenergía calcula el efecto del uso de la madera o de los residuos madereros para la generación de energía. Esta reducción de la emisión puede expresarse en términos del carbono y puede agregarse a las existencias totales en el sistema para el cálculo del efecto total en la atmósfera de la masa boscosa simulada.

6.10.5. Levantamiento de información y metodología para establecer parámetros que permitan la modelación con CO2FIX

Los parámetros para la modelación con software CO2FIX fueron establecidos a partir de la base de datos obtenida en inventario realizado en Proyecto de Balance de Carbono en la Reserva Malleco, iniciado en el año 1995 y concluido en el año 2000. El objetivo de este proyecto fue desarrollar un modelo de manejo multifuncional y sustentable del bosque nativo templado de Chile, por lo que el levantamiento de información fue completo y de buena calidad.

Es en el año 1998 cuando se aprueba el “plan de manejo sustentable de la RN Malleco”. Este plan integra los diferentes recursos y funciones de la reserva: producción, protección y función social. Además, el proyecto debía tener la capacidad de elaborar y operar herramientas que permitan el seguimiento ambiental de los programas de acción implementados.

Esta modelación en CO2FIX pretendió, evaluar y analizar los efectos de la alternativa de corta “Selectiva” como método de manejo de corrección del renoval de bosque nativo de la reserva, en definitiva evaluar el efecto del manejo en un escenario con y sin intervención y medir el efecto de este cuantificando sus consecuencias sobre el ciclo del carbono.

6.10.6. Escenarios de productos para modelación con CO2FIX en renovales de Roble-Raulí-Coigüe

Para un mejor análisis se considero el uso dado a la madera de las tres principales especies de este tipo forestal, los cuales se detallan a continuación:

Roble: Se emplea en estructuras de edificios y puentes, durmientes, postes de alumbrado, estacas para cerco, estructuras y cubiertas de embarcaciones, carpintería y ebanistería.

Raulí: Su aplicación es muy variada en mueblería y toda clase de construcciones, puertas, tejuelas, chapas, tallados, embarcaciones, tornería, artesanía, otros, motivo por el cual ha sido intensamente explotada.

Coigüe: Es excelente para toda clase de construcciones mayores: puentes, muelles, estanques, otros. Por su dureza es muy adecuada para pisos, parquet, cubiertas de mesa, tonelería y mueblería.

Se considera en este estudio para todas las especies de este tipo forestal el uso energético mediante la fabricación de leña y carbón vegetal.

6.10.7. Determinación de un turno óptimo de rotación para renovales de Ro-Ra-Co mediante un modelo CO2FIX

La formulación de modelos validos que permitan la gestión sustentable de los bosques nativos chilenos logrando un beneficio económico y ambiental, debe considerar el estado de estructura actual de este tipo de bosques y de acuerdo a este estado establecer un objetivo prioritario ligado a la maximización de los rendimientos económicos de la masa existente. Para lograr este objetivo mediante la modelación en CO2FIX, se adopta un turno definitivo de 80 años, con solo dos intervenciones y una corta final.

Con respecto a la función objetivo de esta modelación, las posibilidades son variadas, aunque para este estudio se formularon las dos que representan la oportunidad inmediata de aprovechamiento de este tipo de bosques en Chile, como los son la producción de madera aserrada y energía, además de optimizar el carbono capturado por la masa.

6.11. RESULTADOS

6.11.1. Resultados turno óptimo de captura de carbono

En el cálculo del turno óptimo de un bosque del tipo Roble-Raulí-Coigüe, bajo el criterio netamente económico financiero nos señala para la edad de 45 años el máximo de rentabilidad en captura de carbono situación que se muestra en la tabla 38.

BOSQUE RENOVAL CON BONIFICACIÓN POR CAPTURA DE CARBONO
Turnos y Renabilidad Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe

Turno (años)	Vol. Total (m3/ha)	Extracción (m3/ha)	VAN (€/ha)	TIR (%)
35	375,51	112,65	573	16
36	393,94	118,18	578	16
37	412,36	123,71	586	16
38	430,79	129,24	599	16
39	449,22	134,77	602	16
40	467,65	140,29	634	16
41	486,08	145,82	671	16
42	504,50	151,35	692	16
43	522,93	156,88	708	16
44	541,36	162,41	733	16
45	559,79	167,94	781	16
46	617,79	185,34	766	16
47	675,79	202,74	760	16
48	733,79	220,14	757	16
49	791,79	237,54	752	16
50	849,79	254,94	745	16
51	907,79	272,34	743	16
52	965,79	289,74	738	16
53	1023,79	307,14	734	16
54	1081,79	324,54	731	16
55	678,94	203,68	710	16

Tabla 38. Máximo de rentabilidad en captura de carbono.

Este resultado responde a la metodología propuesta y diseñada en base a la edad actual del renoval (45 años), esta metodología persigue recuperar los óptimos productivos en madera y servicios no maderables en no más de 3 intervenciones.

Este parámetro de 3 intervenciones se dio considerando el optimizar rotaciones buscando minimizar sus ciclos debido al interés de parte de propietarios de bosques autóctonos en recibir utilidades de su inversión en manejos de corto o mediano plazo.

Por lo tanto, la gran duda de los inversionistas en el mercado del carbono es la duración media que tendrá su inversión, esta duda aún no tiene respuesta, ya que demanda del conocimiento de la evolución del avance tecnológico que permita en un futuro regular y minimizar las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

En este análisis se considera una edad máxima de rotación de 80 años y ciclos de corta de entre 10 y 20 años.

Al considerar más de un ciclo se persigue permitir la capacidad natural de regeneración de un bosque de este tipo con el fin de que logre nuevamente un óptimo de aumento en volumen productivo y recuperar biomasa que le permite fijar carbono liberado en la corta anterior.

En el capítulo 3 se determinó que el óptimo privado que corresponde a la edad de 46 años, el cual se define para por la edad donde se obtiene el VAN es máximo, se contraponen a este punto el óptimo ambiental que como se presenta en la tabla 38 correspondiente al turno para el cual la captura de carbono es máxima, entre ambos óptimos se sitúa el óptimo productivo ambiental, el cual representa la preferencia de la sociedad por ambos bienes.

Este óptimo quedó definido para la edad de 44 años.

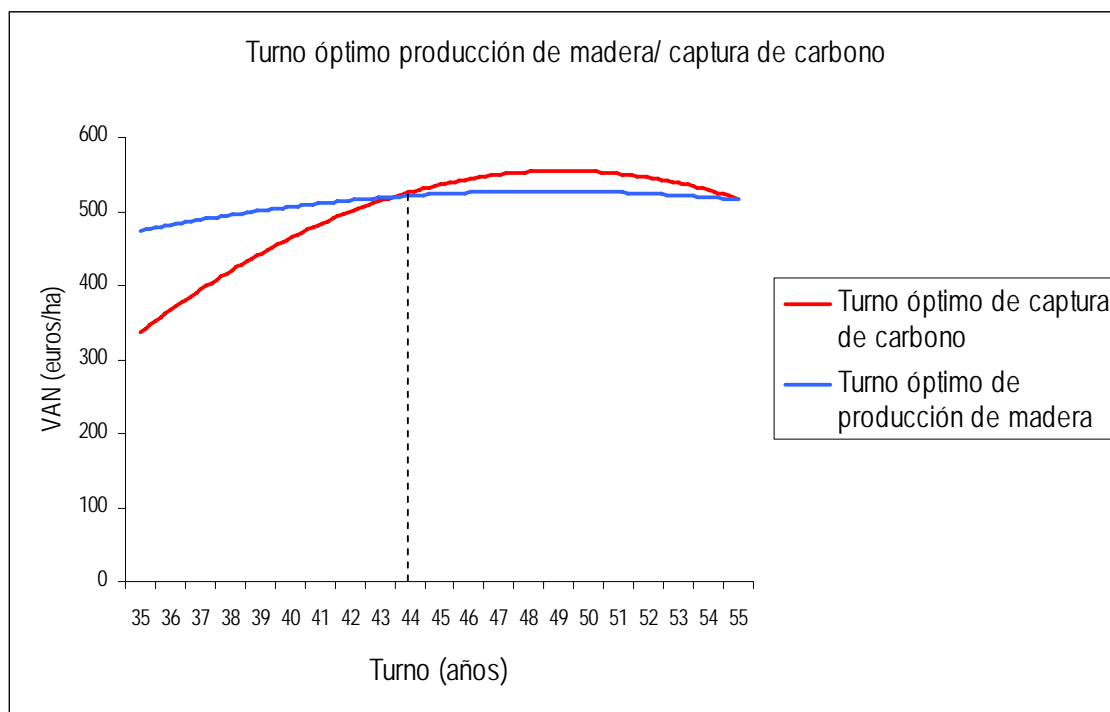


Figura 26: Turno óptimo productivo ambiental considerando captura de carbono.

Si analizamos la rentabilidad de la captura de carbono dentro de un escenario de bonificación por reforestación con especies nativas contempladas en Decreto Ley 701, nos encontramos con un aumento del turno óptimo, este se produciría a los 49 años. Esta situación demuestra en la figura 28.

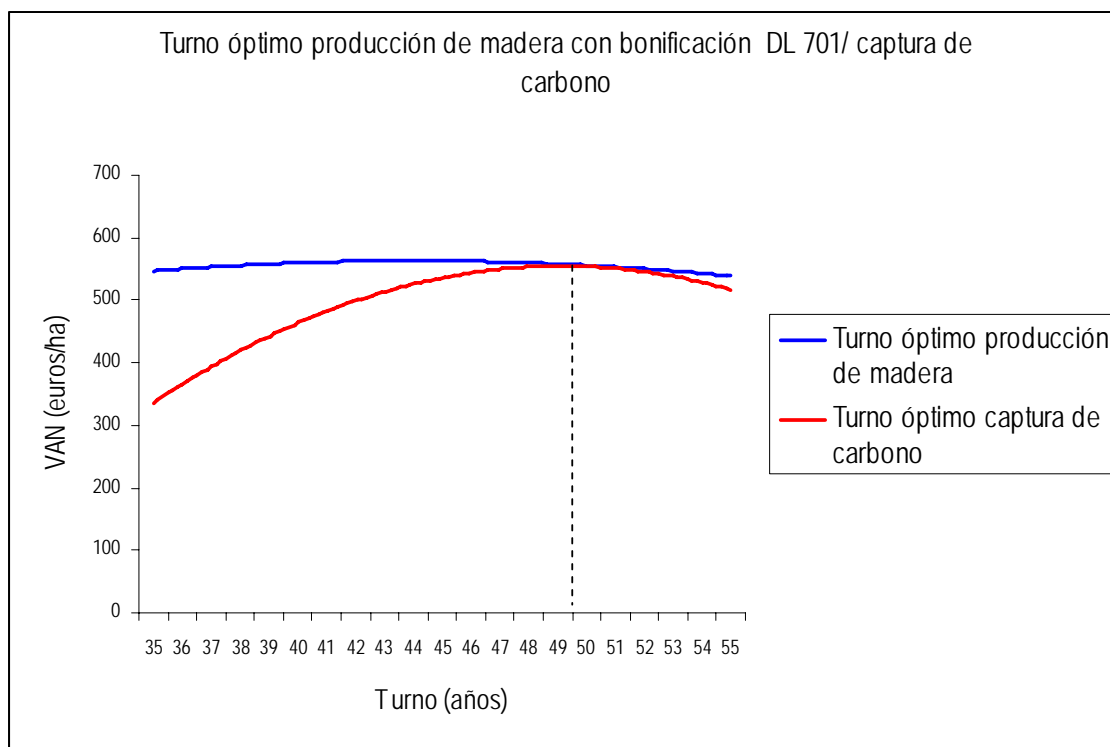


Figura 27: Turno óptimo productivo ambiental considerando captura de carbono en un escenario con bonificación DL 701.

En el caso del escenario bonificable con la Ley 20.283 Sobre Recuperación de Bosque Nativo y Fomento Forestal, tenemos que el turno presenta la misma prolongación que en la situación del DL 701 (Decreto Ley 701). Esta situación se muestra gráficamente en la figura 29.

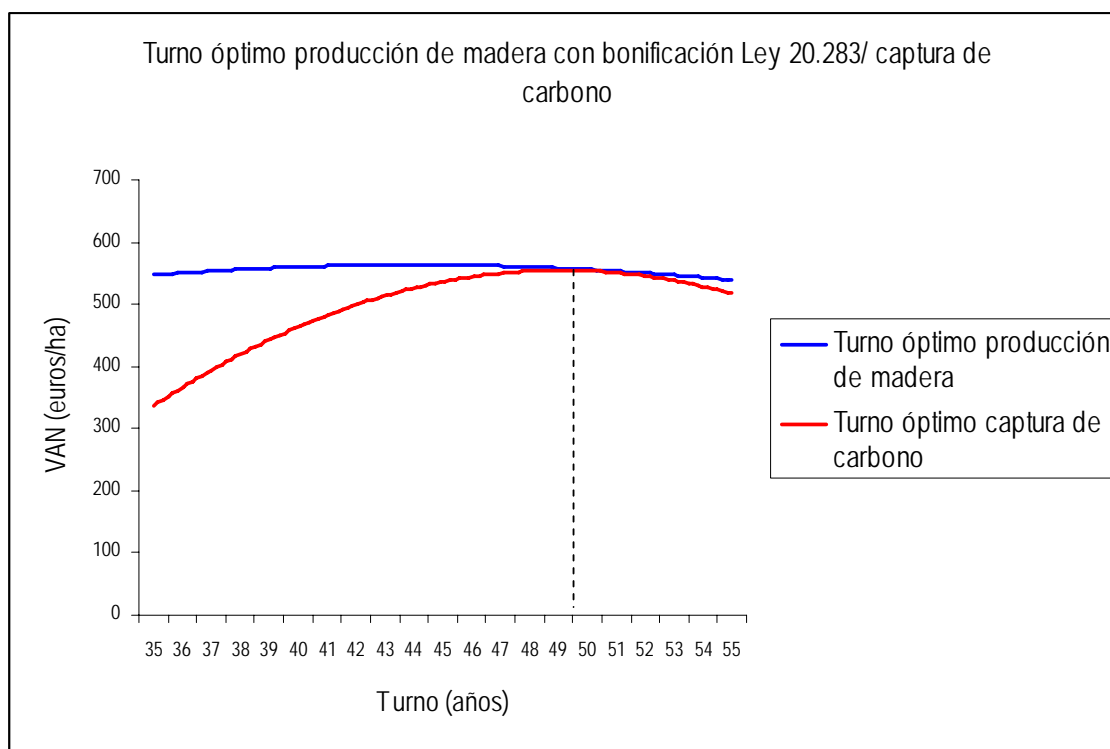


Figura 28: Turno óptimo productivo ambiental considerando captura de carbono en un escenario con bonificación Ley 20.283.

El aumento de los ingresos mediante las bonificaciones forestales produce un incremento importante en el turno óptimo ambiental de la captura de carbono, esto motivado por los ingresos obtenidos con las cortas intermedias.

Los bosques autóctonos chilenos presentan una viabilidad financiera cuando se dispone de las bonificaciones, en definitiva la inclusión de estas bonificaciones permite la viabilidad de bosques de estas características (turno largo, crecimiento lento). La falta de este tipo de políticas de fomento forestal no permitiría la aproximación de los óptimos privados y ambientales.

6.11.2. DISCUSIÓN DEL TURNO ÓPTIMO DE CAPTURA DE CARBONO

De este análisis se desprende la creciente rentabilidad del bosque nativo chileno, independiente de las bonificaciones o el valor que tome la tonelada de captura de carbono. La explicación para esto sería el aumento en el crecimiento medio mediante los métodos silviculturales aplicados a estos bosques y el precio que alcanza la madera de especies nativas en Chile.

El manejo adecuado a este tipo de bosques en busca de un aumento en el corto plazo de su masa forestal, nos permitirá mantener turnos relativamente cortos, minimizando los efectos del descuento y así lograr que la inversión en el manejo de especies nativas sea rentable.

El precio de la tonelada de carbono juega un papel importante en esta rentabilidad, el incipiente mercado del carbono existente en la actualidad mantiene precios que recién superan los 10 euros por tonelada de carbono. Tienen importancia en la rentabilidad actual de este tipo de bosques, el ingreso derivado de la venta de madera y los beneficios obtenidos de las bonificaciones.

Es importante considerar en diseño del manejo con fines de captura de carbono, reconocer las especies con las que se va a reforestar a la hora de maximizar esta captura. En el caso de bosques autóctonos chilenos, las claras tienen mucha importancia a la hora de corregir la dinámica de la masa forestal, privilegiando especies con mayor capacidad de captura como lo es el raulí (*Nothofagus alpina*).

6.11.3. CONCLUSIONES DEL TURNO ÓPTIMO DE CAPTURA DE CARBONO

Si bien es cierto, el carbono capturado por las masas forestales no solucionara el problema del calentamiento global y cambio climático, esta es hoy la alternativa de mitigación en espera de soluciones reales a nivel energético.

Esta capacidad de los árboles ha provocado un creciente interés por parte de la sociedad científica en desarrollar modelos de manejo integral dentro de la gestión forestal.

El fomento forestal en Chile que motiva a los propietarios a la forestación con especies nativas, reforestación y manejo de bosques autóctonos, esta abriendo una nueva alternativa económica local e internacional, que demanda necesidades urgentes como lo es el diseño de metodologías de contabilización de carbono que permitan una participación mas adecuada en el mercado del carbono.

El aumento en los turnos óptimos de la captura de carbono en bosques nativos es mínimo en comparación al incremento en especies de rápido crecimiento, en este sentido la decisión final de inversión estará dada por la conjugación de otras variables de decisión independiente de cada caso y situación.

Es preciso diseñar y ajustar nuevos modelos de manejo de bosques nativos en Chile, esto porque los existentes no fueron diseñados para permitir la captura de carbono y considerar esta variable en el calculo del turno óptimo.

6.12. RESULTADOS TURNO ÓPTIMO DE VALORIZACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Para el análisis de la biodiversidad en este capítulo, se utilizó como valores indicadores de riqueza específica (S), estos valores se encuentran entre 1 y 3. El valor mayor nos indica la presencia de mayor cantidad de una especie arbórea dentro del rodal inventariado.

Bajo el criterio de la medición del óptimo privado o productivo y el óptimo ambiental se supuso un valor monetario a la biodiversidad el cual corresponde al valor de enriquecimiento para el manejo de bosques nativos determinado por la corporación nacional Forestal que corresponde a 500,6 €/ha.

Son entonces los índices de Margalef y Menhinick lo que determinaran el valor final de bosque para este análisis.

Rodal	Sector	Cantón	Exposición	Pendiente(%)	Índices	
					Margalef	Menhinick
1	Pino Huacho	292-298	NE	47	0,53	0,06
2	Pino Huacho	288-287	SO	34	0,66	0,05
3	Pino Huacho	302-303	NE	47	0,63	0,06
4	Niblinto	442	/	9	0,51	0,04
6	Prado Menuco	24	SE	49	0,64	0,08
7	Prado Menuco	24	SE	42	0,63	0,06
8	Prado Menuco	21	SE	14	0,64	0,04
9	Pino Huacho	290	N	11	0,62	0,04
10	Prado Menuco	30-33-37	NE	18	0,65	0,05
11	Prado Menuco	55	S	60	0,65	0,05
12	Prado Menuco	27	SO	40	0,65	0,05
13	Prado Menuco	59	N	29	0,61	0,03
14	Niblinto	515	N	23	0,37	0,04
15	Niblinto	537-512	O	47	0,27	0,09
16	Prado Menuco	41-48-49-51	NO	38	0,63	0,05
17	Zona Quemada	563	N	29	0,65	0,04
18	San Lorenzo	438	NO	27	0,61	0,04
19	Niblinto	518	N	23	0,45	0,03
20	Niblinto	455-456-457	O	60	0,34	0,06
21	Niblinto	451	NO	11	0,47	0,03
22	Pino Huacho	44	/	8	0,67	0,02
23	Pino Huacho	44	N	5	0,65	0,02

Tabla 39: Índices obtenidos para cada rodal

El manejo de la diversidad dentro de un bosque, mediante el enriquecimiento produce que los índices presenten una gran variabilidad, el manejo propuesto para este renoval ha permitido luego de la primera intervención (año 2002), un aumento dentro del estrato de especies presentes luego de 9 años, no solo ha modificado su estructura horizontal, sino que también la horizontal.

El manejo contempla permitir la regeneración natural que para este tipo de bosques se calcula en 10 años (Schmidt y Lara, 1985).

Fueron removidos durante el manejo todos los árboles de mala calidad, ya que interrumpían el crecimiento de árboles codominantes y dominantes, debido a sus copas y ramas y utilización de sitio.

Los índices de diversidad fueron calculados considerando 14 especies presentes en los rodales muestreados, estas son: el Arrayan, Avellano, Avo, Coigüe, Laurel, Lingue, Nirre, Olivillo, Radal, Raulí, Roble, Tapa, Tineo, Trevo. Siendo las que se destacan en la regeneración natural en Trevo y el Raulí.

Rodal	Sector	Cantón	Exposición	Pendiente(%)	<i>Indices</i>	
					<i>Margalef</i>	<i>Menhinick</i>
1	Pino Huacho	292-298	NE	47	2,42	0,25
2	Pino Huacho	288-287	SO	34	2,48	0,23
3	Pino Huacho	302-303	NE	47	2,44	0,24
4	Niblinto	442	/	9	2,57	0,22
6	Prado Menuco	24	SE	49	2,51	0,25
7	Prado Menuco	24	SE	42	2,55	0,24
8	Prado Menuco	21	SE	14	2,54	0,21
9	Pino Huacho	290	N	11	2,53	0,21
10	Prado Menuco	30-33-37	NE	18	2,54	0,22
11	Prado Menuco	55	S	60	2,57	0,23
12	Prado Menuco	27	SO	40	2,54	0,23
13	Prado Menuco	59	N	29	2,54	0,22
14	Niblinto	515	N	23	2,54	0,21
15	Niblinto	537-512	O	47	2,51	0,23
16	Prado Menuco	41-48-49-51	NO	38	2,44	0,23
17	Zona Quemada	563	N	29	2,49	0,21
18	San Lorenzo	438	NO	27	2,42	0,21
19	Niblinto	518	N	23	2,49	0,21
20	Niblinto	455-456-457	O	60	2,48	0,24
21	Niblinto	451	NO	11	2,51	0,21
22	Pino Huacho	44	/	8	2,42	0,21
23	Pino Huacho	44	N	5	2,42	0,21

Tabla 40: Índices obtenidos para cada rodal luego de la primera intervención

Luego de realizada la primera intervención, corta e enriquecimiento, se determino el VAN con el fin de determinar el turno óptimo considerando la bonificación de enriquecimiento o conservación de la biodiversidad contemplada en la legislación forestal vigente en Chile. Sus resultados se muestran en la tabla 41.

BOSQUE RENOVAL CON BONIFICACIÓN CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD
Turnos y Renabilidad Tipo Forestal Roble-Raulí-Coigüe

Turno (años)	Vol. Total (m ³ /ha)	Extracción (m ³ /ha)	VAN (€/ha)	TIR (%)
35	375,51	112,65	582	16
36	393,94	118,18	597	16
37	412,36	123,71	601	16
38	430,79	129,24	602	16
39	449,22	134,77	609	16
40	467,65	140,29	633	16
41	486,08	145,82	636	16
42	504,50	151,35	641	16
43	522,93	156,88	642	16
44	541,36	162,41	643	16
45	559,79	167,94	645	16
46	617,79	185,34	646	16
47	675,79	202,74	648	16
48	733,79	220,14	650	16
49	791,79	237,54	655	16
50	849,79	254,94	657	16
51	907,79	272,34	659	16
52	965,79	289,74	665	16
53	1023,79	307,14	632	16
54	1081,79	324,54	630	16
55	678,94	203,68	629	16

Tabla 41: Turno óptimo considerando bonificación por enriquecimiento (CONAF, 2007).

Los esquemas actuales de manejo de bosques, determinan que cuando este llega a un diámetro de utilización este debe ser cortado, el mas adecuado para la explotación forestal es el diámetro medio cuadrático (Donoso *et al*, 1999), el cual asegura la obtención de madera de alta calidad aserrable, cuando los renovales lo alcanzan de realiza la intervención.

Se pone especial cuidado en dejar árboles semilleros quienes están encargados de restituir el bosque.

El manejo de la diversidad se establecerá un valor en base al valor de espera de rentabilidad, esto quiere decir que se debe panificar un horizonte que permita calcular los retornos económicos de la explotación de un bosque cada cierto periodo de años, para este estudio se definieron ciclos de intervención de 10 años, los que su vez se calcularon teniendo en cuenta el DMC objetivo.

Luego de cada ciclo de intervención se extraerá el DMC objetivo proyectado para ese tiempo y edad.

De esta forma queda establecido el valor de la diversidad que en definitiva es el valor del bosque, igual a los ingresos derivados de la primera intervención donde se incluye el enriquecimiento y venta de madera, menos los costos de la regeneración artificial y finalmente se le suman los retornos de ciclo de corta a un horizonte planificado de 10 años.

Si unimos en una gráfica las rentabilidades del manejo de un renoval de Roble-Raulí-Coigüe para objetivos de producción de madera y valorización por conservación de la biodiversidad tenemos que el turno óptimo se alarga hasta el año 52 aproximadamente. Esta situación se representa en la figura 29.

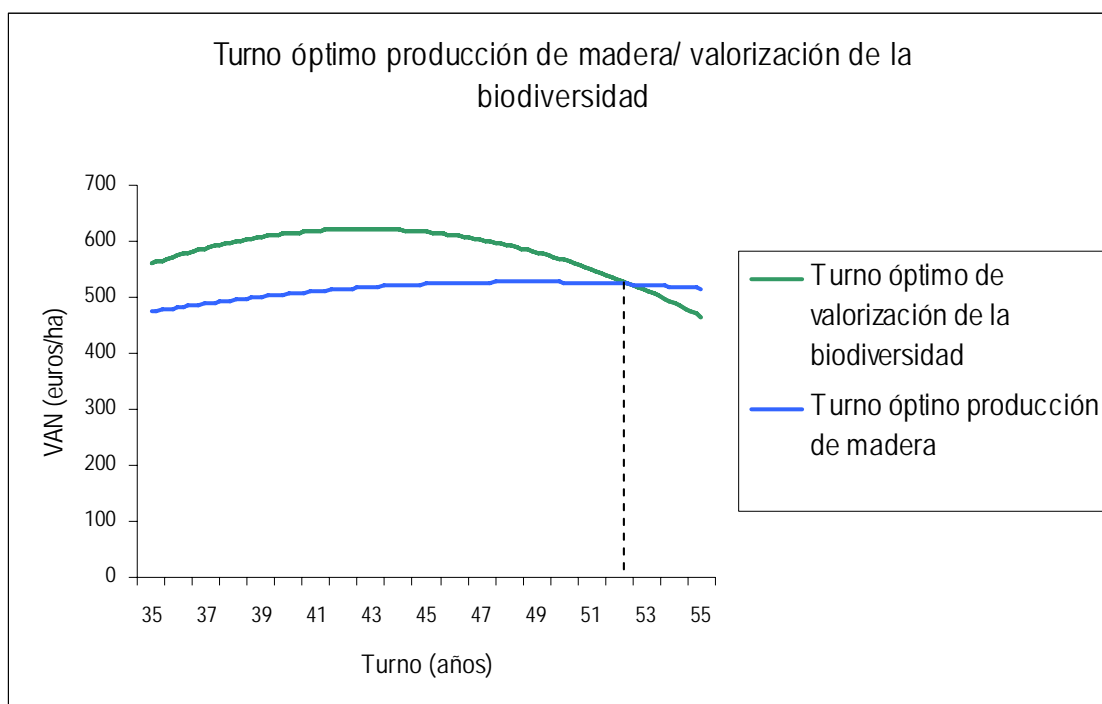


Figura 29. Producción de madera y valorización por conservación de la diversidad.

El aumento de los índices de diversidad, persigue conformar bosques mas heterogéneos y multiespecíficos que haga que un bosque además de permitirle ser mas atractivo para la vista del ser humano, debe cumplir con un rol biológico en el desarrollo de los recursos naturales, este rol necesariamente debe ser acompañado de buenas practicas de silvicultura sustentable como lo es la aplicación de técnicas de valoración de paisaje. (Tabla 42).

Rodal	Sector	año 2000		año 2010	
		<i>Margalef</i>	<i>Menhinick</i>	<i>Margalef</i>	<i>Menhinick</i>
Todos	Reserva Nacional Malleco	0,67	0,09	2,57	0,24

Tabla 42. Variación producida por los índices de diversidad luego de cumplida la primera intervención en la Reserva Nacional Malleco.

6.12.1. CONCLUSIONES DEL TURNO ÓPTIMO DE VALORIZACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

La reserva Malleco, debe ser analizada bajo dos escenarios en lo que se refiere a su regeneración y aumento de su diversidad. El primero es la regeneración y aumento de la diversidad en los sectores quemados, este escenario favorece a la especie raulí, la cual junto la Trevo están formando parte de la nueva dinámica de del bosque remanente. La segunda es la que esta entregando el manejo integral de la reserva, el cual aún destaca un crecimiento considerable para le especies coigüe, sin embargo se ha podido observar mediante las parcelas permanentes que la especie raulí ha ido aumentando paulatinamente su incremento y participación espacial dentro de la reserva.

Se estima que luego de la segunda intervención aumentara el incremento para la especie raulí lo que reducirá la brecha que los separa.

Con el calculo de los índices de diversidad se ha querido demostrar la necesidad de de lograr el diseño de practica de manejo integradas que permiten valorara hoy en día el bosque no solo como productor de madera , sino que también como proveedor de servicios y bienes ambientales. Los resultados expuestos en este capitulo demuestran la que la bioeconomía es la encargada de proponer nuevas técnicas silviculturales que ayuden al sector forestal a lograr el máximo aprovechamiento maderero y el aumento de diversidad corroborando así la compatibilidad de estos dos objetivos.

Para conseguir la diversidad, será necesario plantearse el enriquecimiento con especies semitolerantes y tolerantes que permitan un proceso de una sucesión clásica, el costo de este requiere de la creación de incentivos ya existentes en la legislación forestal chilena, por lo tanto el diseño y difusión de proyectos de valorización de recursos naturales y sus posibilidades en mercados ambientales son de mucha importancia para el desarrollo de Chile.

Integrar el manejo de diversidad al tradicional manejo de bosques permitirá una planificación de las actividades necesarias para que en el corto o mediano plazo de obtengan rentabilidades de los bosques autóctonos chilenos que permanecieron intocables durante décadas.

Este estudio determinó que la situación actual de la Reserva Malleco es de multietaneidad. El resultado final del manejo es logra permitir que en un plazo de 30 años se puedan generar nuevos espacios de nichos ecológicos, provocando así cambios

favorables en cuando al nivel paisajístico y ambiental dando cumplimiento a las nuevas demandas y potencialidades de de este tipo de bosques.

Se hace importante el estudio y aplicación de nuevas normas de manejo para los bosques nativos chilenos ya que las diseñadas hoy en día no consideraban el pago por servicios ambientales, sin embargo no deja de ser atractivo para los pequeños propietarios la viabilidad económica, ecológica y social de este tipo de manejo sustentable.

6.13. RESULTADOS MODELO CO2FIX

6.13.1. Cálculo de Línea base del modelo CO2FIX v.3.1 en la Reserva Malleco

La aplicación del modelo CO2FIX para renovales de Roble-Raulí-Coigüe y su posterior análisis nos permiten obtener una gran variedad de resultados.

Como primer resultado obtenemos la línea base o nivel de referencia de captura de carbono para la reserva a los 45 años. En la figura 31, se observa la línea base del stock de carbono total contenido en el renoval (línea amarilla), línea base de carbono contenido en el suelo (línea verde) y línea base de biomasa (línea azul).

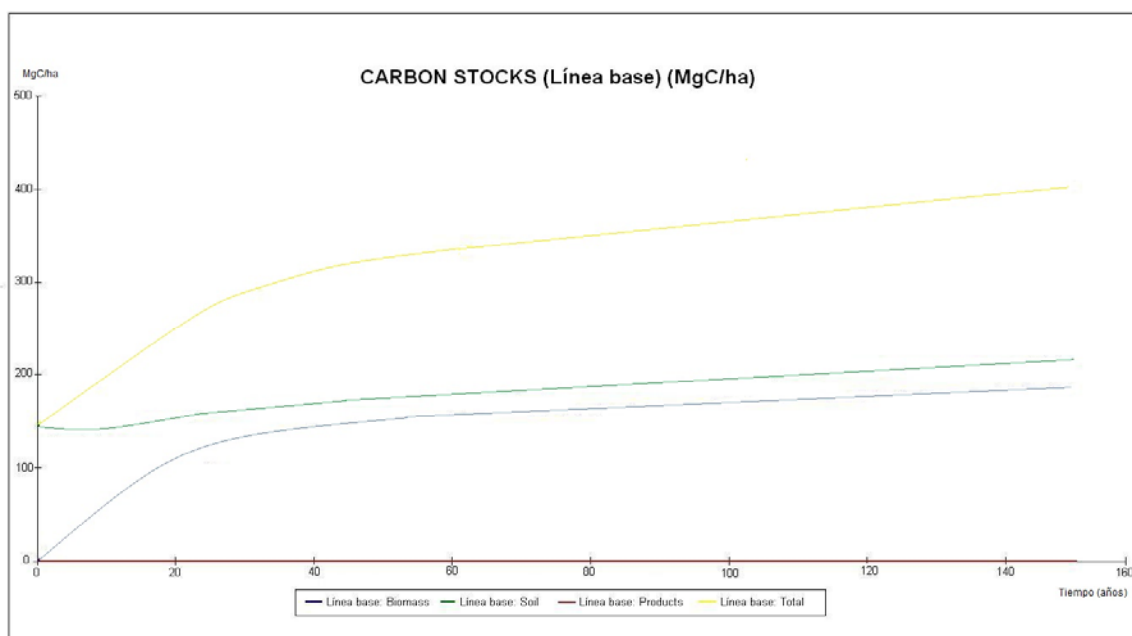


Figura 30: Línea base de Reserva Nacional Malleco.

Observamos claramente en la Figura 31, se aprecia que el renoval de Roble-Raulí-Coigüe en la reserva Malleco crece con una curva ascendente próxima al año 45, aquí posee un stock acumulado de carbono adicionados suelo y biomasa de 320 MgC/ha.

Luego, siguiendo la dinámica de crecimiento natural de este tipo de bosques, se aprecia un aumento mínimo y constante hasta el año 80, donde el stock acumulado de carbono es de 350 MgC/ha, esta edad es la recomendada por la literatura para realizar corta final.

Este apartado pretende comparar este escenario de línea base de stock acumulado a los 45 y 80 años, con escenario resultante luego de una primera intervención de corrección a los 45 años y modelamiento de una segunda intervención que se producirá a los 65 años, esto con el fin de determinar la capacidad de este tipo forestal de recuperar su stock inicial a los 80 años mediante un manejo sostenible.

6.13.2. Comparación de cálculo de línea base a los 80 años mediante modelo CO2FIX y muestreo directo

Para comprobar si la estimación del modelo se acerca a la calculada mediante muestreo directo se compararon ambas situaciones en las tablas 43 y 44.

En la tabla 43, Representa Carbono contenido en los árboles a los 80 años, estimado mediante datos obtenidos en muestreo directo para balance de carbono en la Reserva Malleco y en la tabla 44, se representa Carbono contenido en los árboles a los 80 años, obtenidos mediante el modelo CO2FIX v3.1

Estado de desarrollo a t = 45	Superficie en ha	Estado de desarrollo a t = 80 años	Valores de carbono en t/ha	Valores de carbono dentro de 80 años en t
Desarbolado	272,5	Desarbolado	-	-
Regeneración	202,9	Latizal	19,3	3.916,0
Brinzal	550,6	Fustal	47,3	26.043,4
Latizal	3223,9	Maduro	100,1	322.712,4
Fustal	1266,5	Sobre-maduro	118,6	150.206,9
Maduro	1636,4	Sobre-maduro	121,7	199.149,9
Sobre-maduro	3540,6	Sobre-maduro	126,1	446.469,7
Total	10.693,4			1.148.498,2

Tabla 43, Representa Carbono contenido en los árboles a los 80 años, estimado mediante datos obtenidos en muestreo directo.

Estado de desarrollo a t = 45	Superficie en ha	Estado de desarrollo a t = 80 años	Valores de carbono en t/ha	Valores de carbono dentro de 80 años en t
Desarbolado	272,5	Desarbolado	-	-
Regeneración	202,9	Latizal	15,9	3.226,1
Brinzal	550,6	Fustal	41,3	22.739,8
Latizal	3223,9	Maduro	96,9	312.395,9
Fustal	1266,5	Sobre-maduro	112,6	142.607,9
Maduro	1636,4	Sobre-maduro	127,3	208.313,7
Sobre-maduro	3540,6	Sobre-maduro	139,9	495.329,9
Total	10.693,4			1.184.613,4

En la tabla 44, Representa Carbono contenido en los árboles a los 80 años, obtenidos mediante el modelo CO2FIX v3.1

El modelo CO2FIX no entrega resultados a nivel de estado de desarrollo del árbol, los datos fueron procesados para un mejor análisis posterior. Solo consideramos en el análisis la información referida a biomasa aérea, ya que el manejo se diseño bajo un criterio productivo y de aprovechamiento de la masa por parte de pequeños propietarios forestales que poseen este tipo de bosques. Se puede observar, que el modelo CO2FIX v3.1. Le da un mayor valor a la biomasa aérea.

6.13.3. Análisis de captura de carbono para escenario SIN y CON manejo utilizando modelo CO2FIX

Este análisis pretende comparar la captura de carbono en dos posibles escenarios. Un escenario es el que hemos denominado *línea base*, ya presentado en el apartado 5.13.1, y que se caracteriza por ser el que alcanzaría el bosque en un estado de equilibrio en el que no se llevaría a cabo alteraciones ni extracciones en su masa forestal. Otro escenario es el que hemos denominado *proyecto* y que se caracteriza por ser el escenario derivado de una gestión forestal sostenible. La diferencia entre ambos escenarios nos va a proporcionar la captura neta de carbono a la que va a dar ejecución del proyecto de gestión forestal.

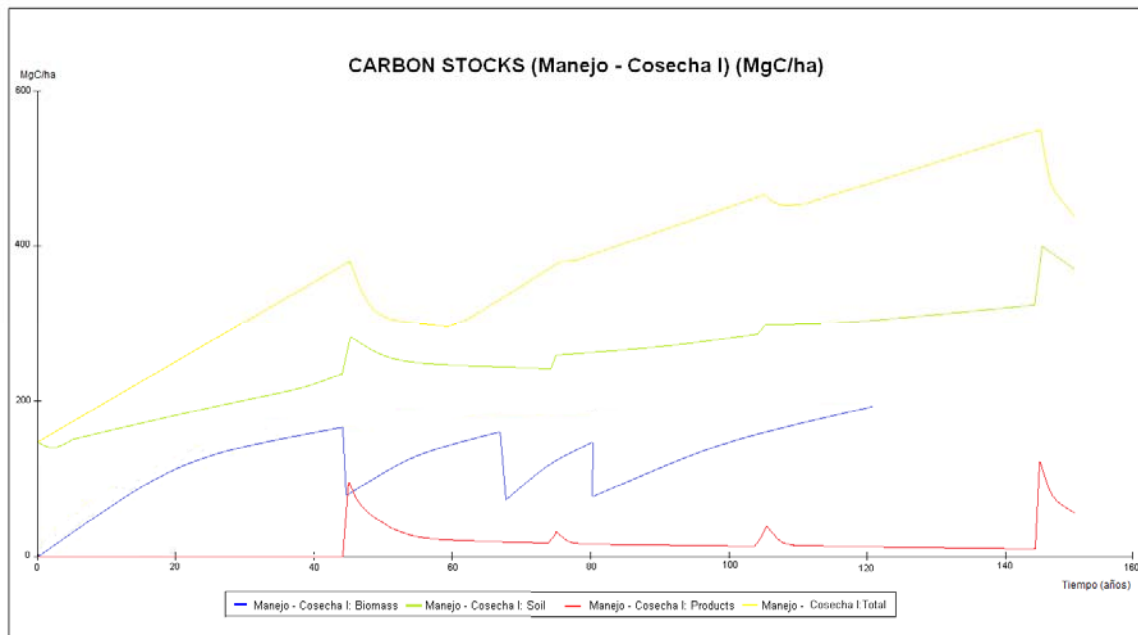


Figura 31: Corta selectiva al año 45.

En la figura 32, podemos apreciar que la alternativas de intervención mediante cortas selectivas al año 45 y año 65 con turnos de y 20 y 15 años, con la intención de mejorar la masa forestal proyectando así su óptimo en madera de calidad y óptimo en capacidad de captura de carbono.

Esta figura presenta el gráfico que presenta la acumulación de carbono al año 45 y la que se genera proyectando escenario de producción de madera aserrada y corrección de la masa para una óptima captura de carbono.

Se observa además en esta figura la suma de los almacenes de carbono presentes en Biomasa (Azul), Suelo (Verde), Productos (Rojo) y Total Cosecha I (Amarillo) y su comportamiento a un horizonte de 100 años.

CONTENIDO DE CARBONO (TonC/ha)		ESCENARIO DE GESTIÓN DE PRODUCTOS			
		Con Manejo		Sin Manejo	
		Todos los productos	Madera aserrada	Todos los productos	Madera aserrada
Manejo Sustentable	Línea base (45 años)	426,3	170,2	389,8	107,4
	Línea base (80 años)	478,8	183,0	447,2	174,8
	Cortas Selectiva, 45 años	426,3	167,4	389,8	107,4
	Cortas Selectiva, 65 años	429,5	148,1	401,4	110,9
	Entresaca bosquetes, 80 años	478,8	146,4	447,2	174,8
	Entresaca bosquetes, 100 años	498,0	147,6	451,2	100,1

Tabla 45. Contenido de carbono mediante modelo CO2FIX para gestión de madera aserrable.

CONTENIDO DE CARBONO (TonC/ha)		ESCENARIO DE GESTIÓN DE PRODUCTOS			
		Con Manejo		Sin Manejo	
		Todos los productos	Bioenergía	Todos los productos	Bioenergía
Manejo Sustentable	Línea base (45 años)	426,3	47,1	389,8	43,2
	Línea base (80 años)	478,8	58,0	447,2	49,8
	Cortas Selectiva, 45 años	426,3	49,2	389,8	43,2
	Cortas Selectiva, 65 años	429,5	69,3	401,4	48,8
	Entresaca bosquetes, 80 años	478,8	57,1	447,2	49,8
	Entresaca bosquetes, 100 años	498,0	57,4	451,2	50,3

Tabla 46. Contenido de carbono mediante modelo CO2FIX para gestión de bioenergía.

Como se puede observar en los cuadros 45 y 46 se ha comparado la línea base a los 45 y 80 años con la gestión forestal basada en madera aserrada y bioenergía.

Esta comparación nos muestra que a medida que el tiempo aumenta, aumenta también la capacidad de captura de carbono, para proyectos de integración de la sustentabilidad social y biológica un horizonte de proyección de 150 años es excesivamente alejado para el intereses reales que se persiguen en el mediano plazo, cuyo objetivo principal es transformar el manejo de este tipo forestal en una alternativa económica sustentable para los pequeños propietarios forestales.

Aún analizando un proyecto con un horizonte de 100 años, este horizonte resulta poco viable para un pequeño propietario forestal, como también lo es para un gestor forestal,

puesto que resulta muy difícil asegurar y garantizar la persistencia del proyecto. Se efectuó un análisis de las variaciones que existirían si realizáramos dos cortas de corrección una a los 45 años y otra a los 80 años. Todo esto con el fin de demostrar la eficiencia de captura de carbono considerando su permanencia en el tiempo mediante el destino final de la producción. El valor de captura de carbono en un horizonte de 80 o 100 años, no genera variación importante en la capacidad de fijación respecto de un horizonte de 150 años.

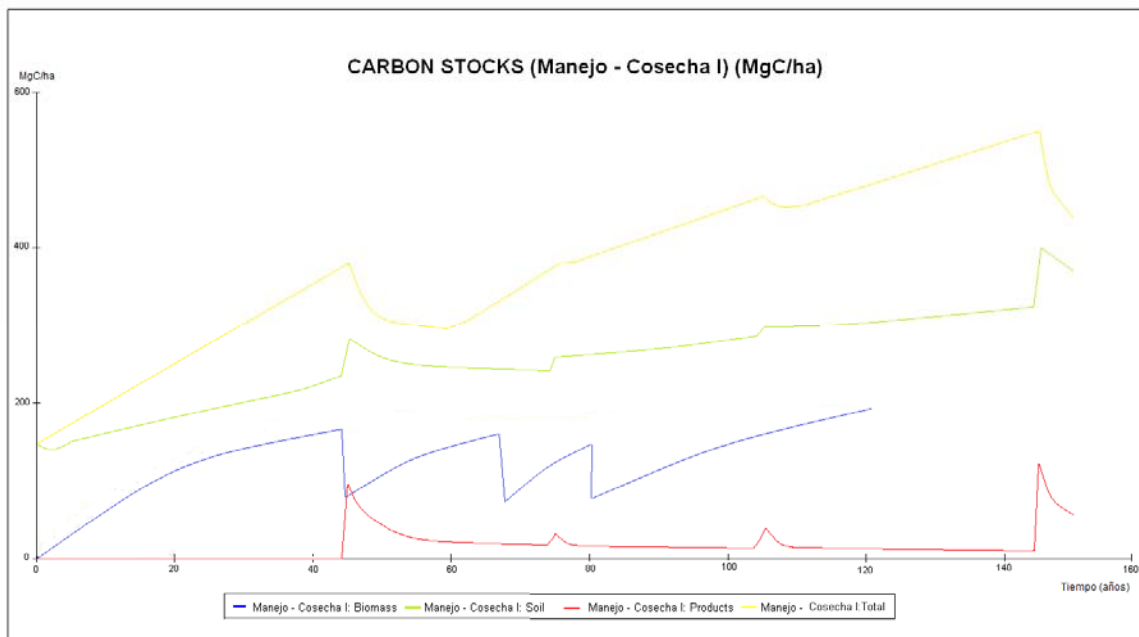


Figura 32. Permanencia de carbono en productos según modelo CO2FIX para gestión de madera aserrable.

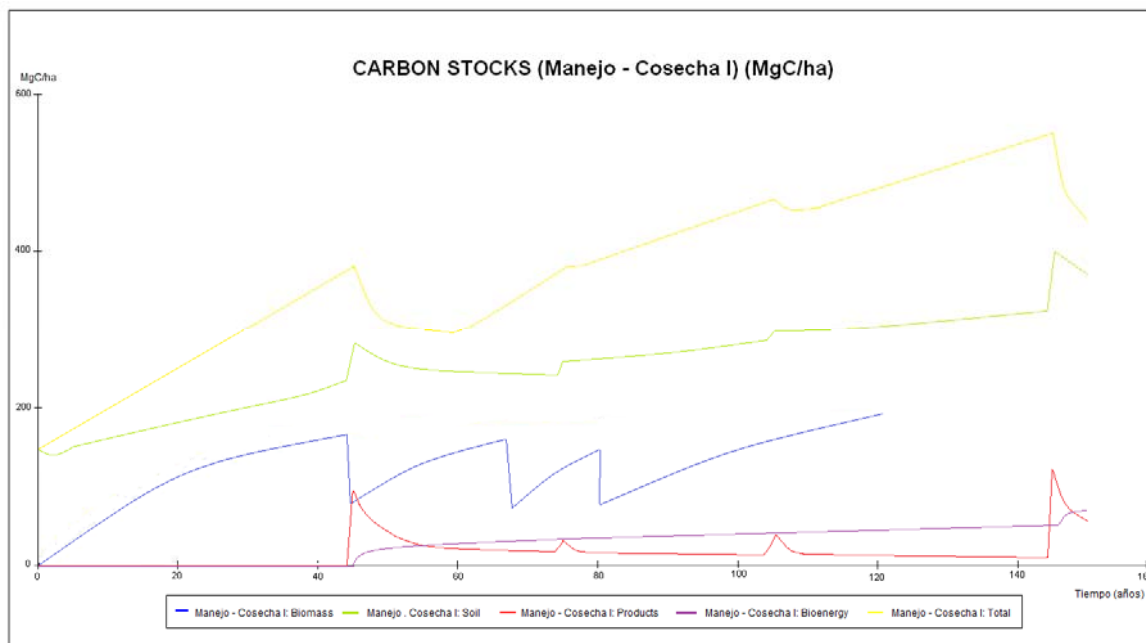


Figura 33. Permanencia de carbono considerando bioenergía según modelo CO2FIX.

6.13.4. Beneficios del manejo de corrección en renovales de Roble-Raulí-Coigüe con fines de aumento de capacidad de captura de carbono

En las masas boscosas con el paso de tiempo lleva a una aumento de su capacidad de captura de carbono, sin embargo dependiendo de la especie este espacio de tiempo podría significar la pérdida de la posibilidad de conjugar otras prestaciones del bosque, en este tipo de bosques rotaciones con horizontes superiores a los 45 y 80 años no despiertan interés de elección como especies reforestadoras.

Por esta razón la modelación del comportamiento de estos tres *Nothofagus* en cuanto a su capacidad de captura de carbono, nos arroja un valor puramente teórico y al simular intervenciones a los 45, 65 y 80, se persigue estimar el comportamiento y respuesta a nuestro método de manejo.

En el figura 35 se muestra como un manejo adecuado y a edad temprana aumenta la fijación de carbono por parte de renovales de Roble-Raulí-Coigüe.

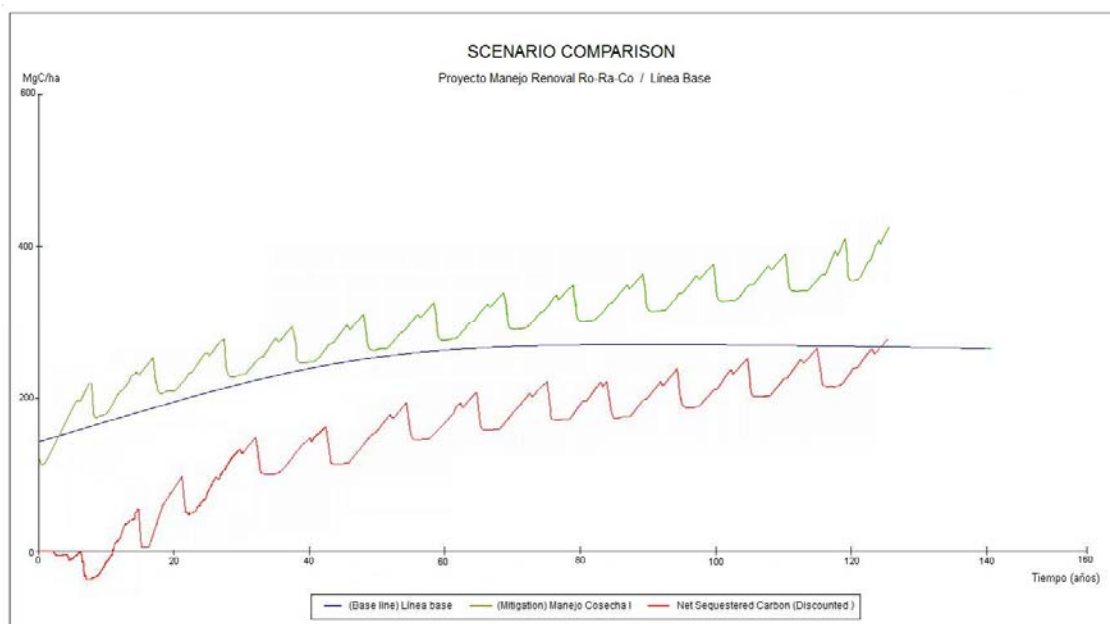


Figura 34. Respuesta al manejo, aumento de la capacidad de captura de carbono.

Las intervenciones fueron calculadas para un horizonte no superior a 100 años, aunque la edad considerada por el pequeño propietario forestal como el máximo crecimiento que alcanza un bosque del tipo Roble-Raulí-Coigüe son los 80 años.

El interés del pequeño propietario forestal es obtener un retorno financiero de la explotación de sus bosques en el corto plazo, razón por la cual toda propuesta de manejo sustentable debe considerar el aprovechamiento de sus recursos a lo menos una vez por generación familiar. Esta modelación ha confirmado que las edades óptimas de intervención para esta especie son los 45 y 65 años las cuales nos permiten la corrección de la masa y a la vez aseguran que la dinámica de este tipo forestal lo hará sostenible en el tiempo.

6.14. ANÁLISIS DEL MODELO CO2FIX PARA ESCENARIOS DE PRODUCCIÓN

Se modeló considerando como único criterio la captura de carbono, el modelo arroja resultados con escenarios óptimos para la captura por parte del tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe, esto escenarios se lograrán únicamente aplicando una selvicultura intensiva de cortas selectivas con turnos no menores de 20 años.

Se destaca como edad óptima para la captura en un renoval de la Reserva Malleco la edad de entre 45 años. Edad que en un horizonte de 100 años es la más adecuada para intentar corregir la masa actual de este tipo forestal existente en Chile actualmente.

El escenario, de producto madera aserrada es el mas óptimo para la permanencia del carbono capturado a los largo del tiempo, aunque luego de su empleo tradicional, mucho de los productos una vez terminada su vida útil se emplean para bioenergía, situación que genera pérdidas de carbono.

Este análisis nos indica la variabilidad que podría tener la captura de carbono en la Reserva en función de la aplicación de un plan de ordenación que permita priorizar y lograr el equilibrio entre productos maderables del bosque y productos no maderables del bosque. Se podrían mediante este modelo evaluar otros modos de gestión al nivel de la fijación de carbono.

El modelo simple de evolución desarrollado en este apartado pretendió obtener órdenes de valores. Con estas aproximaciones se podrá comparar la evolución de este masa mediante parcelas permanentes existentes en la zona de estudio y así determinar la eventual capacidad de fijación adicional del bosque creada por el manejo.

El modelo estableció como capacidad de fijación máxima de un bosque manejado del tipo Roble-Raulí-Coigüe a la edad de 80 años 478,8 TonC/ha y con una capacidad de fijación a los 45 años de 426,3 TonC/ha. Comparando estos resultados con las 447,2 TonC/ha a los 80 años y 389,8 TonC/ha a los 45 años, fijadas por un bosque no manejado se hace recomendable para este tipo de vegetación la planificación de intervenciones tempranas para asegurar la obtención de productos maderables y ambientales óptimos.

Queda definida mediante los gráficos que la edad de recuperación de las tasas iniciales de carbono es aproximadamente los 80 años, lo que nos permitiría proponer esta edad como la de corta final de este tipo forestal, obviamente bajo un criterio sustentable y asegurando la regeneración natural del bosque.

Como variable a considerar en futuros manejos, se desprende de este estudio que la posibilidad de privilegiar la especie raulí sería una buena alternativa de dinámica para el mejor aprovechamiento de estos bosques.

6.15. CONCLUSIONES GENERALES

Existe una necesidad de diseñar modelos de valorización de los servicios ambientales. En puerta esta la posibilidad de participación de Chile en el mercado ambiental según Protocolo de Kyoto, el que promueve para países no desarrollados la implementación de proyectos bajo la figura de MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) y los mercados voluntarios de bonos de carbono. Llega así a estos países la definición de gestión sostenible, concepto que abre nuevas alternativas económicas para países de América latina.

El manejo de este tipo forestal debe realizarse en sus estados más jóvenes mediante intervenciones silviculturales que permitan lograr su óptimo en producción de madera y el óptimo de estos bosques como sumideros de carbono.

La variable conservación de la diversidad demostró ser gran influencia en el calculo del óptimo se rotación para este tipo forestal, el desafío para próximos estudios será ajustar modelos que nos permitan determinar la forma de acercar este óptimo a los óptimo productivos y de captura de carbono.

Se deben definir los criterios e indicadores que permitan un manejo sustentable de este tipo forestal.

Para hacer de este tipo de bosque un recurso sostenible como sumidero, en futuros estudios se debe considerar la calidad de sitio donde esta establecido el bosque. Esta variable en un primer y básico análisis demostró ser de gran incidencia en el crecimiento de las especies en estudio.

Es de mucha importancia lograr diseñar un trabajo de desarrollo estratégico en Chile, que permita afrontar de mejor manera los nuevos desafíos de la gestión sostenible de los bosques.

CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

- Acosta-Mireles, M., Vargas-Hernández, J. Etchevers-Barra J. y Velázquez-Martínez, A. (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, v.36, n.6, p.725-736, 2002.
- Acosta, M., Quednow, K., Etchevers, J. y Monreal, C. (2001). Un método para la medición del carbono almacenado en la parte aérea de sistemas de vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. In: *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, Valdivia. Memoria. Valdivia: UACH.
- Acquatela, J. (2001). CEPAL/PNUD Proyecto: Aplicación de instrumentos económicos en la gestión ambiental en América Latina y el Caribe.
- Aguilar, A., Carrasco C., Trincado, G., Rios, R. y Diaz, A. (1997). Evaluación de los insectos barrenadores de madera asociados al tipo forestal Roble-Raulí-Coigüe en la provincia de Valdivia X Región: una aproximación hacia la evaluación de pérdidas. Valdivia. Universidad Austral de Chile. 37 p. (Informe Convenio, 235).
- Arreaga, W. (2002). Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Turrialba: CATIE, 2002. 86f. Tesis (Magister Science) – CATIE.
- Aliaga, J. y Villegas, H. (2009). Cambio climático, Desarrollo económico y Energías renovables: Estudio Exploratorio de America Latina. Pag. 6-10.
- Alcántara, V. y Padilla, E. (2005). Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en diferentes áreas del mundo. Facultad de ciencias económicas y empresariales. Universidad Autónoma de Barcelona. España. 33 pag.

- Alder, D. y Silva, J. (2000). An empirical cohort model for management of Terra Firme forests in the Brazilian Amazon. *Forests Ecology and Management*. 130p.
- Barros, V. (2005). *El cambio climático global*. 2da. ed. Buenos Aires: Libros del Zorsal, Argentina, 176 p.
- Beer, J., Blinov, A., Bonani, G., Finkel, R. C., Hofmann H. J., Lelmann, B., Oeschger, H., Sigg, A., Schwander, J., Staffelbach, T., Stauffer, B., Suter, M. y Wölfli, W. (1990). Use of be in polar ice to trace the 11-year cycle of solar activity. *Nature* 347, 164 – 166.
- Borregaard, N., Claro, E. y Larenas, S. (1995). *Instrumentos Económicos en la Política Ambiental*. CONAMA. Santiago
- Bolin, B., Döös, B., Pagar, J. y Warrick, R. (1986). *The Green House Effect, Climate Change and Ecosystems*. Ed. John Wiley & Sons.
- Beumont, E. (1999). *El Protocolo de Kyoto y el mecanismo para un desarrollo limpio. Nuevas posibilidades para el sector forestal de América Latina y el Caribe*. Departamento de Montes, FAO, Roma. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 99 p.
- Brown, S., Gillespie, A. y Lugo, A. (1989) Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, v.35, n.4, p.881-902.
- Brown, S. y Iverson, L. (1992). Biomass estimates for tropical forests. *World Resource Review*, v.4, n.3, p.366-383.
- Brown, S., Hall, Ch., Knade, W., Raich, J., Trexler, M. y Woomer P. (1993). *Tropical Forest: their Past, Present and Potential Future Role In The Terrestrial Carbon Budget*. *Water, Air and Soil Pollution*, 70, 71-94p.

- Campos, J. y Leite, H. (2009) *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 3ª Ed. Viçosa-MG: Editora da UFV, 548p.
- Calvo, A. (1998). Bosque y fijación de carbono. Una aproximación económica. *Ciencias Ambientales*. (Costa Rica). (15): 46-53.
- CEPAL/PNUMA. (1997). *Instrumentos Económicos para la Gestión Ambiental en América Latina y el Caribe*. México.
- Ciesla, W. (1995). *Climate change, forest and forest management: An overview*. FAO Forestry. U.S.A. 217 p.
- Corporación Nacional Forestal. (1994). *Normas de manejo para raleo de renovales del tipo forestal RO-RA-CO*. Solicitud de aplicación. Chile. 8 p.
- Corporación Nacional Forestal. (1997). *Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Temuco. Catastro y evaluación de los recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales*. Santiago. 88p.
- Chacón, C. (1998). Fijación de carbono como servicio ambiental comercializable a la luz del derecho ambiental internacional. *Ciencias Ambientales (Costa Rica)*. 15: 36-43.
- Christensen, N. y Peet, R. (1984). Convergence during secondary forest succession. *Journal of Ecology* 72: 25-36
- De Jong, B., Cairns, M.A., Ramírez-Marcial, N., Ochoa-Gaona, S., Mendoza-Vega, J., Haggerty, P., González-Epinosa, M. y March-Mifsut, I. (1998). Land-use change and carbon flux between the 1970s and 1990s in the central highlands of Chiapas. México. *Environmental Management*.
- Díaz-Franco, R., Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F., Buendía-Rodríguez, E., Flores-Ayala, E. y Etchevers-Barra, J. (2007). *Determinación de ecuaciones*

alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Madera y Bosques* 13(1): 25-34.

Dixon, J. y Fallon, L. (1990). El concepto de sustentabilidad: sus orígenes, alcances y utilidad en la formulación de políticas. En: *Desarrollo y Medio Ambiente. Hacia un Enfoque integrador*. Editado por Joaquín Vial. Alfabeta Impresiones. Santiago, Chile.

Dixon, R., Brown, S., Houghton, R., Solomon, A., Trexler, M. y Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263, p. 185-190.

Donoso, C. (1981). *Ecología Forestal. El bosque y su medio ambiente*. Santiago. Universitaria. 421 p.

Donoso, C. (1993). Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Santiago, Editorial universitaria. pp. 363-387.

Donoso, C. (1995). Bosques templados de Chile y Argentina. Variación, estructura y dinámica. Santiago, Editorial universitaria. 3ra edición.

Donoso, C. y Lara, A. (1999). *Silvicultura de los bosques nativos de Chile*. Santiago. Universitaria. 483 p.

Drake, F., Emanuelli, P. y E, Acuña. (2003). Compendio de funciones dendrométricas del Bosque Nativo. Universidad de Concepción y Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo CONAF –KfW-DED-GTZ. Litografía Valente y Cía.

Drake, F. (2004). *Uso Sostenible en Bosques de Araucaria Araucana (Mol.) K. Koch. Aplicación de Modelos de Gestión*. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba, España. 156-170 p.

Emanuelli, J. (1991). Funciones locales de volumen y ecuaciones de crecimiento para un rodal de pino oregón (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) establecido en

la precordillera andina de la provincia de Bío-Bío. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chillán.

Figueiredo, A. y Budant, L. (1999). Comparison between predicted volumes estimated by taper equations and true volumes obtained by the water displacement technique (xylometer). *Can. For. Res. Academic Research Library*: 451-461.

Fonseca, W., Alice, F. y Rey, J. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *Bosque*, **30**(1):36-47.

Francis, J. (2000). Estimating biomass and carbon content of saplings in Puerto Rican secondary forests. *Caribbean Journal of Science*, v.36, n.3-4, p.346-350.

Franquis, F. y Infante, A. (2003). Los bosques y su importancia para el suministro de servicios ambientales. 17-30 p.

Gaillard, C., Pece, M. y Juaréz, M. (2002). Biomasa aérea de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*) en dos localidades del Parque Chaqueño Seco. *Quebracho*, n.9, p.115-127.

Gayoso, J. (2000). Proyectos forestales para mitigación del cambio climático. Seminario El mercado del carbono – Realidad y Perspectivas. Santiago: FONDEF-INFOR-UACH, 63 p.

Gayoso, J., Guerra, J. y Alarcón, D. (2002). Contenido de carbono y funciones de biomasa en especies nativas y exóticas. Valdivia (Chile): Universidad Austral de Chile, Proyecto medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Informe Final, Documento N° 1, 2002. 53 p.

Giacomelli V. y Schneider, P. (2008). Análise bioeconômica do seqüestro florestal de carbono e da dívida ecológica: uma aplicação ao caso do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, v. 18, n. 4, p. 493-510,

- Goudie, A. (1990). *The Human Impact on The Natural Environmetn*. Brasil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3 th Edition. 388 p.
- Gujarati, D. (1999). *Econometría básica*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill cuarta edición
- Grosse, H. y Quiroz I. (1999). *Silvicultura de los bosques de segundo crecimiento de Roble, Raulí y Coigüe en la región centro-sur de Chile*. In: Donoso, C y A. Lara. *Silvicultura de los bosques nativos de Chile*. Santiago. pp. 95-128
- Huber, R. y Ruitenbeek, R. (1998). *Market Based Instruments for Environmental Policy Making in Latin America and the Caribbean*. World Bank discussion paper N°381, World Bank.
- Husch, B. (2003). *Estimación de Cantidad de Biomasa y Carbono en Proyectos Forestales*. En: *Seminario Proyectos de Carbono en el Sector Forestal*. Octubre 2003. Chile. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G. – Fundación Chile.
- Husch B. (1963). *Forest mensuration and statistics*. Ronal press, New York.
- INE-SEMARNAP, RETC (1997). *Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*. INE-SEMARNAP, México.
- INFOR. (2009). *Superficie de bosque nativo chileno por tipo forestal*. Boletín N° 83.
- INFOR. (2011). *Monitoreo y actualización de catastro de vegetación chilena en la IX Región*. Boletín estadístico. S/N.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1990). *Climate Change 1990. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1992). Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1995). Climate Change 1995. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. (2003). IPCC meeting on current scientific understanding of the processes affecting terrestrial carbon stocks and human influences upon them. Expert Meeting Report. Genova.
- Jandl, R. (2001). Medición de tendencias en el tiempo de almacenamiento de carbono en el suelo. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales. FONDEF-INFOR-UACH. Valdivia, Chile. 17 p.
- Karjalainen, T. , Kellomäki, S. y Pussinen, A. (1994). Role of wood-based products in absorbing atmospheric carbon. *Silva Fennica* 28 (2), pp.67-80.
- Karjalainen, T. (1996). Dynamics and potentials of carbon sequestration in managed stands and wood products in Finland under changing climatic conditions. *For. Ecol. Manage.* 80, pp. 113-132.
- Karjalainen, T., Pussinen, A., Liski, J., Nabuurs, G., Erhard, M., Eggers, T., Sonntang, M. y Mohren, F. (2002). An approach towards an estimate of the impact of forest management and climate change on the European forest sector budget: Germany as a case study. *Forest Ecology and management* 162(1), pp.87-103.
- Lara, A., Newton, A., Armesto, J., Echeverría, C., Vergara, R., Aravena, J., Premoli A. y Leslie A. (1998). Uso Sustentable, Conservación y Restauración del Bosque Nativo del Centro-Sur de Chile: Proyecto Sucre. Trabajo Presentado al Primer Congreso Latino Americano IUFRO.

- Lara, A., Soto, D., Armesto, J., Donoso, P. y Wernli, C. (2003). Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos chilenos. Libro resultante de la reunión científica sobre bosques nativos realizada en Valdivia, los días 17-18 de julio de 2003". Universidad Austral de Chile. Iniciativa Científica Milenio del Mideplan. 111 p.
- Lashof, D. y Ahuja, D. (1990). Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Global Warming. *Nature* 344:5, 529-531p.
- Liski, J., Nissinen A., Erhard, M. y Taskinen, O. (2003). Climate effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global Change Biology*. 9p.
- Maddicken, K. (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Forest carbon Monitoring Program. Winrock International Institute for Agricultural Development (WRI), Disponible en: <http://www.winrock.org/REEP/PUBSS.html>. Consultado en: 22 de agosto 2009.
- Manso, P. (1998). Cambio climático y fijación de carbono. La experiencia de Costa Rica. *Ciencias Ambientales (Costa Rica)* 15: 28-35.
- Margaleff, R. (1997). *Ecología*. Planeta. Madrid, España. 229 p.
- Martínez, J. y Fernández, A. (2004). Cambio Climático: Una visión desde México. Pag. 100-121.
- Masera, O. (1991). México y el cambio climático global: un balance crítico. *Ciencia y Desarrollo*. 17: (100): 52-67.
- Masera, O. (1995a). Carbon Mitigation Scenarios for Mexican Forest: Methodological Considerations and Results. *Interciencia*. 20(6): 388-395.

- Masera, O. (1995b). Deforestación y Degradación Forestal en México. Documento de Trabajo 19. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada, A.C. Pátzcuaro Michoacán, México. 50p.
- Masera, O. (1995c). Future Greenhouse Emission and Sequestration Scenarios from Land Use Change in Mexico. Report to UNEP from the project Mexico's Country Study on Greenhouse Gas Emissions, Instituto Nacional de Ecología, Mexico.
- Masera, O. (1995d). Los Bosques y El Cambio Climático Global, Universidad de México, 536-537, 43-47 p.
- Manso, P. (1998). Cambio climático y fijación de carbono. La experiencia de Costa Rica. Ciencias Ambientales (Costa Rica) 15: 28-35.
- Mery, G. y Kanninen, M. 1999. Forest plantations and carbon sequestration in Chile. EN: M Palo ed. Forest Transitions and Carbon Fluxes, Global Scenarios and Policies. World Development Studies 15. United Nations University, World Institute for Development Economy Research. Helsinki. 74-100.
- Mintzer, I. (1992). Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses. Cambridge, University Press, Cambridge.
- Montaldo, P. (1951), Condiciones ecológicas y dasonómicas de la especie *Araucaria araucana* (Mol.) Koch. Tesis de grado. Facultad de Agronomía. Universidad de Chile.
- Montero, M. y Kanninen, M. (2002). Biomasa y Carbono en plantaciones de *Terminalia amazonia* (Gmel.) Excell en la zona Sur de Costa Rica. Revista Forestal Centroamericana, v.39-40, p.50-55.
- Moraes, C. (2001). H. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, Nicaragua. Turrialba:. CATIE, 2001. 116f. Tesis (Magíster Science) – CATIE.

- Morales, M. (2003). Modelos fustales para *Eucalyptus regnans* F. Muell., en la comuna de Gorbea, Novena región. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales Universidad de la Frontera. Temuco, Chile.
- Mohren, G. y Klein Goldewijk, C. (1990). *CO₂ Fix: A Dynamic Model of The CO₂ Fixation in Forest Stand*. Research Institute For Forestry and Urban Ecology, Wageningen.
- Mohren, G., Garza, J., Masera, O. y Nabuurs, G. (1997). User's Manual CO2Fix For Windows: a Dynamic Model of the CO₂-Fixation in Forest Stands Version 1.2. IBM Research Report-Instituto de Ecología de la UNAM.
- Morhen, G., Garza Caligaris, J., Masera, O., Kanninen, M., Karjalainen, T., Pussinen, A. y Nabuurs, G. (1999). CO2FIX for Windows: a dynamic model of the CO₂-fixation in forests, Versión 1.2. IBN Research Report 99/3. 33p.
- Nabuurs, G. y Moheren, G. 1995. Modelling análisis of potencial carbon sequestration in selected foresttypes. Canadian Journal of Forest Research. 25p.
- Nebel, B. y Wright, R. (1999). Ciencias ambientales (Ecología y desarrollo sostenible). Pearson Educación. Sexta edición. México. 698p.
- Neuenschwander, A (2003), Estado del Arte del LUCF en el MDL. Santiago de Chile.
- ONF Andina (2002). Proyectos de Reforestación con Fines Comerciales en el Marco del Protocolo de Kioto. Pp: 25.
- Ordóñez, A., (1998). El modelo CO2Fix. Memorias del Taller de metodologías para la Evaluación de la Captura de Carbono en el Área Forestal. Instituto Nacional de ecología-SEMARNAP. México. 74p.
- Orrego, S. y Del Valle, J. (2001). Existencias y tasas de crecimiento neto de la biomasa y del carbono en bosques primarios y secundarios de Colombia.In: Simposio

Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales, Valdivia.

Salati, E. (1990). Los Posibles Cambios Climáticos en America Latina y El Caribe y sus Consecuencias. Report (90)7-1223, Naciones Unidas and Comisión Económica para America Latina y el Caribe-CEPAL. Santiago de Chile, 12-14 de Septiembre, 45 p.

Saldarriaga, C. y Campos, N. (2005). Economía de Recursos Naturales y Medio Ambiente en lo 40 años de la Revista Economía y Admisnistración. (Chile) N° 64- Pag. 83.

Sampson, R., Apps, M., Brown, S., Cole, C., Downing, J., Heath, L., Ojima, O., Smith, T., Solomon A. y Wisniewski, J. (1993). Workshop Summary Statement: Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes-quantification of Sinks and Sources en CO₂. Water, Air and Soil Pollution, 70, 3-15 p.

Sánchez Vega, M. (2008). El efecto invernadero. Revista Biocenosis Vol. 21 (1-2). Costa Rica.

Sanquetta, C., Farinha, L. y Eduardo, J. (2002). Ecuaciones de biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Pinus taeda* en el sur del Estado de Paraná, Brasil. Revista Patagonia Forestal.

Segura, M. y Andrade, H. (2008). ¿Cómo hacerlo? ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? Agroforestería de las Américas, v.46, p; 89-96.

Segura. M. y Kanninen, M. (2005). Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costa Rica. Biotropica, v.37, n.1, p.2-8.

- Segura, M., Kanninen, M., Alfaro, M. y Campos, J. (2000). Almacenamiento y fijación de carbono en bosques de bajura de la zona atlántica de Costa Rica. *Revista Forestal Centroamericana*, v.30, p.23-28.
- Segura, M., Kanninen, M. y Suarez, D. (2006). Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems*, v.68, n.2, p.143-150.
- Sierra, C., Del Valle, J., Orrego, S. (2001). Ecuaciones de biomasa de raíces y sus tasas de acumulación en bosques sucesionales y maduros tropicales en Colombia. En: *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*, Valdivia.
- Da Silva, R., Boechat, C., Gonçalves, L., Lopes da Silva, M., Garcia, H. y Fernandes da Silva, G. (2008). Projeção do estoque de carbono e análise da geração de créditos em povoamentos de eucalipto. *Revista Árvore*, v.32, n.6, p.979-992.
- Soares, C., Leite, H. y Görgens, E. (2005). Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. *Revista Árvore*, v.29, n.5, p.711-718.
- Schlamadinger, B. y Marland, G. (1996). The role of forest and bioenergy strategies in the global carbon cycle. *Biomass and Bioenergy* 10, pp. 275-300.
- Schimel, D. (1995). Terrestrial Ecosystems and The Carbon Cycle. *Global Change Biology*, 1, 77-91.
- Schneider, S.H. (1989). The Greenhouse Effect: Science and Policy. *Science*. 243(10): 271-281.
- Schlegel B. (2001). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques del tipo forestal siempreverde. In: *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*.

- Smith, T., Cramer, W., Dixon, R., Leemans, R., Neilson, R. y Solomon, A. (1993a). The Global Terrestrial Carbon Cycle. En Wisniewski, J. y R.N. Sampson (Eds). Terrestrial Biospheric Carbon Fluxes: Quantification and Sources of CO₂. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 19-37p.
- Smith, T., Cramer, W., Dixon, R., Leemans, R., Neilson, R. y Solomon, A. (1993b). The Global Terrestrial Carbon Cycle. *Water, Air and Soil Pollution*, 70, 19-37p.
- Tatembach, F. (1998). Protección del bosque, venta de carbono. Una visión de conjunto. *Ciencias Ambientales (Costa Rica)*. 15: 20-27
- Tyler, G. (2002). *Ciencia ambiental: preservemos la Tierra*. Quinta edición. Thomson. Australia. 456p.
- Torres, R. y Meza, A. (2001). Medición de carbono almacenado en los Bosques de la Reserva Nacional Malleco, IX Región de la Araucanía. Santiago, Chile: CONAF-ONF, 7p.
- Urrutia, J. (2003). Estado actual de las negociaciones para proyectos forestación y reforestación en el MDL. En: Seminario Proyectos de Carbono en el Sector Forestal. Octubre 2003. Chile. Colegio de Ingenieros Forestales de Chile A.G. – Fundación Chile.
- Paixão, F., Soares, C., Jacovine, L., Silva, M., Leite, H. y Silva, G. (2006). Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. *Revista Árvore*, v.30, n.3, p.411-420.
- Pedroni, L. (1999). Implementación conjunta y desarrollo limpio: Antecedentes a nivel mundial. *Manejo Forestal Tropical (Costa Rica)*. nº 10. 12 p.
- Pedroni, L. (2002). Oportunidades y Requisitos para el pago de servicios ambientales a proyectos de desarrollo limpio. CATIE. Turrialba

- Pérez, D. y Kanninen, M. (2003). Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science*, v.15, n.1, p.199-213.
- Pickett, S. y White, P. (1985). Stand dynamics in Chilean *Nothofagus* forest. In: *The Ecology of natural disturbance and dynamics*. S. Pickett. P. White (eds). USA. Academic Press. pp. 371-384.
- Pinard, M. y Putz, F. (1996). Retaining forest biomass by reducing logging damage. *Biotropica*. 28p.
- Prodan, M. Peters, R. Cox, F. Real, P. (1997), *Mensura forestal. Serie Investigación y educación en desarrollo sostenible*. San José, Costa Rica: IICA: BMZ/ GTZ.
- Ramírez, P. (1998). Gases de efecto invernadero y venta de carbono. Una visión de conjunto. *Ciencias Ambientales (Costa Rica)*. 15: 6-19.
- Real, P. y Moore, J. (1987). An individual tree taper system for Douglas-fir in the Inland-Northwest. Presented at the IUFRO Forest Growth Modelling and Prediction Conference. Minneapolis. 1037-1044.
- Román, E. (2005). Revisión crítica de la experiencia chilena en materia de crédito y microcrédito aplicado a iniciativas de la microempresa y pymes para lograr mejoras en la gestión ambiental. Santiago de Chile, Chile. Pag. 21-46.
- Valero, E. (2004). El ciclo del carbono en el sector forestal. Los bosques como sumideros de carbono: una necesidad para cumplir con el Protocolo de Kyoto. *Revista Montes (77)*, España. Pag 44-49.
- Vargas, R. (1999). Análisis de los instrumentos para la creación de mercados de bienes y servicios ambientales provenientes de los bosques nativos. Tesis de grado de Magíster en administración de empresas MBA. Universidad Austral. Valdivia, Chile. 57 p.

Veblen, T. y Ashton, D. (1978). Catastrophic influences on the vegetation of the valdivian Andes, Chile. *Vegetatio*. 36(3): 149-167.

Veblen, T. y Donoso, C. (1987). Alteración natural y dinámica regenerativa de las especies chilenas de *Nothofagus* de la Región de los Lagos. *Bosque* 8 (2): 133-142.

Veblen, T., Veblen, A. y Schlegel, F.(1979). Understorey patterns in mixed evergreen-deciduous *Nothofagus* forest in Chile. *Journal of Ecology* 67: 809-823.

White, A., Cannell, M. y Friend, A. (2000). CO₂ stabilization, climate change and terrestrial carbon sink. *Global Change* 6, pp. 817-833.

REFERENCIAS DIGITALES

- <http://www.sendeco2.com>, Enero 2011.