

PLANTACIONES FORESTALES

MÁS ALLÁ DE LOS ÁRBOLES



JOSÉ ANTONIO PRADO D.

Acerca del Autor

José Antonio Prado Donoso es Ingeniero Forestal de la Universidad de Chile, y tiene el grado de Master of Science en Silvicultura, obtenido en la Universidad del Estado de Nueva York. También realizó un diplomado en Administración Pública en la Universidad de Carleton, Canadá.

Tiene una larga trayectoria en el sector forestal chileno, donde ocupó los cargos de Director Ejecutivo del Instituto Forestal (INFOR) y Director Ejecutivo de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). En su larga trayectoria como investigador trabajó en diversos temas relacionados con plantaciones forestales, incluyendo la introducción de nuevas especies, técnicas de plantación, mantención de la productividad del sitio y mejoramiento genético de especies de eucaliptos, entre otros. Ha publicado decenas de artículos en revistas nacionales e internacionales y ha participado en numerosos simposios y foros internacionales.

En el campo internacional le correspondió representar a Chile en diversas negociaciones multilaterales como el Panel Intergubernamental sobre Bosques, el Foro Intergubernamental sobre Bosques y el Foro sobre Bosques, todos en el marco de Naciones Unidas. También participó activamente en las negociaciones y acuerdos que dieron como resultado el Proceso de Montreal sobre Criterios e Indicadores para el Manejo Sostenible de los Bosques Templados y Boreales. Más recientemente le ha correspondido representar a Chile en las negociaciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en los temas relacionados con bosques y uso de la tierra.

Entre los años 2004 y 2011 se desempeñó como Director de la División de Evaluación, Manejo y Conservación de Recursos Forestales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) con sede en Roma, con la responsabilidad de coordinar actividades a nivel mundial. Desde 2011 trabaja en el Ministerio de Agricultura en temas relacionados con cambio climático.



PLANTACIONES FORESTALES

MÁS ALLÁ DE LOS ÁRBOLES

JOSÉ ANTONIO PRADO D.



PLANTACIONES FORESTALES

CONTENIDO

| | |
|---|-----|
| ▶ Prólogo | 4 |
| ▶ 01. Las Plantaciones Forestales en el Mundo | 7 |
| ▶ 02. Las Plantaciones Forestales en Respuesta a la Deforestación y Degradación de los Suelos. El Caso de Chile | 23 |
| ▶ 03. El Conocimiento y el Desarrollo Tecnológico en Relación a las Plantaciones Forestales en Chile | 39 |
| ▶ 04. Los Riesgos del Monocultivo | 53 |
| ▶ 05. Impacto de las Plantaciones sobre la Diversidad Biológica | 61 |
| ▶ 06. Las Plantaciones Forestales y su Efecto sobre la Cantidad y Calidad del Agua | 75 |
| ▶ 07. Efecto de las Plantaciones sobre el Suelo | 99 |
| ▶ 08. Plantaciones Forestales y Captura de Carbono | 111 |
| ▶ 09. Mantención de la Productividad. La Base de un Negocio Sustentable | 125 |
| ▶ 10. Las Plantaciones Forestales y el Desarrollo de la Actividad Industrial | 143 |
| ▶ 11. Las Plantaciones Forestales y su Impacto Social | 151 |
| ▶ 12. Consideraciones Finales | 163 |

▶ PRÓLOGO

Luego de más de cuatro décadas de una creación intensiva de plantaciones forestales, pero de casi ochenta años de crecimiento, hoy nos enfrentamos a un nuevo período, donde necesitamos no sólo un desarrollo forestal ambientalmente sustentable, sino que inserto en la realidad de las comunidades locales, incorporando para ellos los beneficios que surgen de la actividad, haciendo participar a los cerca de 120 mil propietarios pequeños y medianos que operan en el sector.

En este contexto, es urgente debatir sobre el papel de las plantaciones forestales en el desarrollo futuro del sector y del país; incluyendo en este debate el aporte histórico realizado en los últimos cincuenta años, basado en información rigurosa, de lo contrario es un ejercicio condenado a una confrontación estéril.

Por esta razón es que hoy presentamos “Plantaciones forestales. Más allá de los árboles”, una completa recopilación de antecedentes acerca de los bosques plantados en nuestro país, donde se debate acerca de aspectos de gran interés como la llegada de las especies al territorio; su importancia para Chile; su impacto sobre otros recursos como el agua, el suelo y la biodiversidad; así como la importante labor que tienen estos bosques en la mitigación del cambio climático.

La rigurosidad en la recopilación y análisis de la información es uno de los aspectos destacados del libro de José Antonio Prado. Su vasta experiencia al servicio del sector forestal chileno, en investigación, docencia y dirección de servicios públicos y organismos internacionales, es una garantía de rigurosidad en el tratamiento de la temática de las plantaciones forestales.

Análisis como el suyo, que desarrolla brillantemente en este libro, son un aporte para enfrentar la encrucijada que tiene por delante el país respecto a su futura política forestal y el papel que le cabrá a las plantaciones

forestales. El libro destaca por desarrollar una mirada amplia de las plantaciones, reconociendo el papel que juegan en una diversidad de temas, no solamente los productivo-madereros, sino también en el ámbito de la biodiversidad, su relación con el agua, con el suelo, con las comunidades donde se insertan estos cultivos y su aporte a la mitigación del cambio climático, posiblemente uno de sus más destacados aportes y que es desconocido para la mayoría de quienes ven en estos cultivos una amenaza al medio ambiente.

Junto con desarrollar esta mirada amplia, el autor además plantea uno de los aspectos claves para un mejor debate sobre las plantaciones forestales: cómo enfrentar la creciente demanda futura de productos derivados de la madera bajo un enfoque de sostenibilidad, sin comprometer la existencia de los bosques naturales actuales. Ahí es donde el valor de las plantaciones forestales debe ser destacado, y el autor lo realiza en forma contundente.

Este libro debe ser una lectura obligatoria para todos quienes desean participar de un debate riguroso sobre las plantaciones forestales en Chile y el mundo, especialmente en un momento en que elaborar políticas públicas sobre uso de los recursos naturales es un desafío complejo. La creciente demanda por conservación a todo evento y el rechazo sin matices a proyectos que impacten la naturaleza, ha instalado una corriente de opinión ciudadana que se opone al uso de estos recursos como herramienta de desarrollo. Se descalifica a nuestra economía debido a su dependencia de los recursos naturales, como si transitar hacia una economía basada en el conocimiento y el desarrollo tecnológico fuera un asunto de unos pocos años y mero voluntarismo. Cosa que obviamente no es así.

En la actualidad la ciudadanía exige aprovechar los recursos naturales con un enfoque no extractivo, como es la valorización de los servicios ambientales; o bien se exige



un incremento de las regulaciones que a la larga termina por desincentivar proyectos públicos y privados, afectando económicamente a la misma ciudadanía.

La actividad forestal es tal vez el mejor ejemplo en el que se manifiestan estas tensiones. Ha crecido en los últimos años el rechazo hacia la expansión de las plantaciones forestales con especies exóticas, y al mismo tiempo se acentúa un enfoque conservacionista del bosque nativo, promoviendo más regulación sobre su aprovechamiento maderero. Se afirma, con mucha convicción, que los servicios ambientales que proveen los bosques entregarían mayores beneficios económicos a sus propietarios que la madera, aunque olvidan mencionar que esta afirmación

se basa en el cumplimiento de una serie de supuestos que en la actualidad están muy lejos de concretarse.

Para aportar al debate de estos temas complejos es que presentamos este libro que sabemos será una poderosa herramienta para quienes quieran conocer un sector de gran importancia para el país y aportará en forma seria a la discusión que hoy existe respecto del uso de nuestros recursos naturales.

*Roberto Cornejo Espósito
Presidente Nacional
Colegio de Ingenieros Forestales de Chile*



01 Las Plantaciones Forestales en el MUNDO

Las plantaciones forestales, aun cuando han tomado mayor relevancia en las últimas décadas, han sido parte importante en el uso de la tierra desde hace siglos y seguirán aumentando en los próximos años, tanto para la producción de madera con fines industriales como para la generación de servicios, especialmente la recuperación de tierras degradadas, la lucha contra la desertificación y la captura de carbono. Las plantaciones forestales están llegando a un punto en que superarán a los bosques nativos en la producción de madera industrial en el mundo, con los consiguientes beneficios económicos, ambientales y sociales que ello implica.

Cuando esto se logre, la producción forestal estará llegando al estado que alcanzó la agricultura hace siglos, es decir, concentrar la producción en unas pocas especies, en un área reducida, empleando la mejor tecnología disponible para obtener el máximo rendimiento posible.

Un poco de historia

El camino para llegar a la situación actual ha sido largo. La humanidad ha plantado árboles desde hace miles de años con diversos objetivos, entre ellos la producción de alimentos, madera, gomas, resinas, taninos, o simplemente con fines ornamentales. En el Mediterráneo las plantaciones se remontan a cerca de 4000 años A.C. Es muy probable que el olivo (*Olea europea*) haya sido el primer árbol plantado en esta región. En Egipto se encuentran evidencias de plantaciones de mirra (*Commiphora myrrha*), especie introducida desde Somalia (Evans, 2009).

En China las plantaciones se remontan a por lo menos 2000 años A.C. y aproximadamente hace 1100 años A.C. un emperador de la dinastía Chou (1127- 255 A.C.) creó un servicio forestal con la responsabilidad de cuidar los bosques existentes y reforestar las tierras que se encontraban desnudas. Finalizado el dominio de esta dinastía, la deforestación continuó. En la historia china hay muchos ejemplos de programas de plantaciones. Uno de los casos más notables se registra en la dinastía Sung (429 -589 D.C.), en que los campesinos que plantaban árboles en tierras públicas se convertían en sus propietarios. Sobre las plantaciones de abeto chino (*Cunninghamia lanceolata*), que hoy cubren millones de hectáreas en el centro y sur de China, hay registros desde hace por lo menos 1000 años (Evans, 2009).

La humanidad ha plantado árboles desde hace miles de años para la producción de alimentos, madera, resinas o simplemente con fines ornamentales.

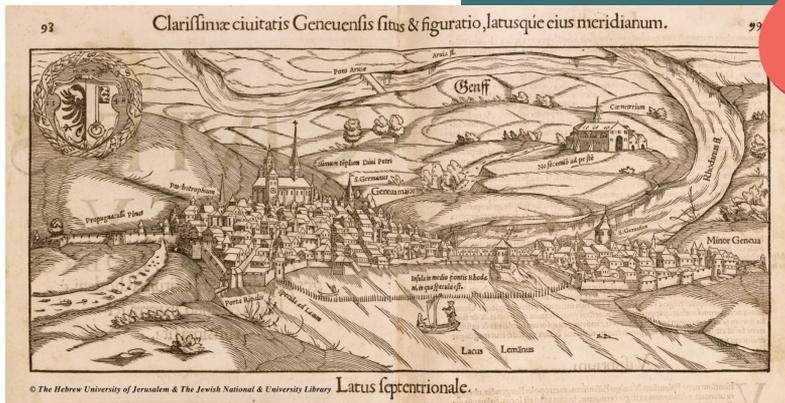


Figura Nº1

Vista de Ginebra a mediados del siglo XVI. Los bosques habían sido eliminados del paisaje. Más tarde (a partir del siglo XIX) la cubierta forestal se recupera a través de plantaciones forestales.

En tiempos mucho más recientes, 1979, el Quinto Congreso Popular de China adoptó la Ley Forestal de la República Popular China, designando el 12 de marzo como el día nacional de las plantaciones. En 1981 el Congreso Popular adoptó la "Resolución para movilizar toda la nación para adherir a la campaña voluntaria de plantación de árboles". A esto se sumó la promulgación de una serie de leyes y regulaciones sobre plantación de árboles y otra vegetación de protección. En los 10 años siguientes más de 2 mil millones de chinos tomaron parte en esta actividad voluntaria a través de todo el país. De acuerdo al informe de la Comisión Nacional de Forestación de China "Ellos lo hicieron con un profundo sentimiento patriótico" (TCNAC,

1991). Entre 2005 y 2010 se establecieron más de 45 millones de hectáreas de plantaciones forestales, lo que convirtió a China en uno de los pocos países del mundo en que el área cubierta de bosques aumentó (Cao *et al.*, 2011).

En Europa las plantaciones forestales se inician en la Edad Media. Los primeros registros de reforestación datan de 1368, cuando en la ciudad de Nuremberg se sembraron varios cientos de hectáreas que habían sido afectadas por el fuego (Powers, 1999). Hacia el siglo XVII la mayoría de los países había reducido su cubierta forestal al máximo. En algunos casos, la excesiva explotación de los bosques llevó a ciertas regiones casi a un colapso económico, ya que la falta de madera para energía afectó la producción, especialmente de acero (Powers, 1999). La deforestación continuó en los siglos siguientes. En 1789, Francia, que originalmente tenía cerca de un 80% de cobertura forestal, sólo llegaba al 14% de su territorio cubierto de bosques (Postel and Heise, 1988).

Durante los siglos XV y XVI los procesos de reforestación fueron lentos y sólo comienzan a cobrar importancia a partir del siglo XVII. Países como Francia, Inglaterra y Alemania vieron con gran preocupación la evidente escasez de ma-



Inicio de la campaña verde en la Provincia de Shaanxi, China, en marzo de 1956 (Tomada de Green Historical Journey, The China National Afforestation Commission).

dera, lo que constituía no sólo un problema desde el punto de vista de la construcción y la energía sino que también desde la perspectiva de la seguridad nacional. La reina Isabel I de Inglaterra mandó a establecer plantaciones de encino (*Quercus sp.*) preocupada por la escasez de madera para construir naves de guerra. Luis XIV, rey de Francia (1643-1715), hizo acuerdos con propietarios privados para abastecer de mástiles a los astilleros reales. Hace algunos años atrás, cuando habían pasado casi 3 siglos, descendientes de uno de los propietarios contratados por el rey informaron al Estado francés que los árboles estaban listos para su entrega de acuerdo a lo convenido. Esta anécdota nos recuerda que el negocio forestal por lo general es de largo plazo.

Producto de esta situación de deforestación casi total es que la mayoría de los bosques de Europa central tienen su origen en plantaciones. A partir del siglo XVIII en muchos países se comienza a estudiar el tema forestal, lo que genera un importante cambio en las prácticas de plantación.

Los primeros bosques plantados se establecieron con especies nativas como *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Larix decidua* y *Fagus sylvatica*, y sólo a mediados del siglo XIX comienza la introducción de especies desde otros continentes, entre las que destacan *Picea sitchensis*, *Pinus contorta*, *Pseudotsuga menziesii*, por mencionar algunas. Más recientemente se introdujeron en Inglaterra diversas especies de *Nothofagus* originarias de Chile y Argentina. En los países mediterráneos se plantan diversas especies de *Eucalyptus* originarios de Australia y el Pino insignie (*Pinus radiata*), plantado especialmente en España. Hoy día, Europa, sin considerar la Federación de Rusia¹, tiene una cubierta forestal que alcanza al 34% de su territorio (FAO, 2010).

En otras partes del mundo las plantaciones forestales también tienen una larga historia. Un buen ejemplo son las plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en muchos países tropicales. Esta especie fue extensamente plantada en Java a partir del siglo XV para la construcción de naves. Con la llegada de los europeos, primero portugueses y, un par de siglos más tarde, holandeses, su demanda se multiplicó y su plantación se extendió a varios países de la región, incluyendo India.

Una mención especial merecen las plantaciones de caucho (*Hevea brasiliensis*), especie que siendo de origen amazónico, primero se plantó en Malasia hacia fines del siglo XIX y luego se extendió a Indonesia y otros países.

En África del Sur las plantaciones se inician a fines del siglo XIX con especies introducidas desde Australia (*Acacia mearnsii*) y América (*Pinus patula*, *P. caribaea*, *P. elliotii*, *P. taeda* y otros). En 1921 había cerca de 140.000 hectáreas de acacia entre Sudáfrica y Kenia plantadas para la producción de taninos. Esta especie también se plantó en otros países del sur de África. Las plantaciones a gran escala de *Eucalyptus*, especialmente *E. grandis*, comienzan en esa época. Hacia 1945 sólo en Sudáfrica habían más de 180.000 hectáreas de plantaciones de pino y eucalipto (Evans, 2009).

En el norte de África no se establecieron muchas plantaciones, sin embargo son famosas las de *Eucalyptus globulus* en los alrededores de Addis Abeba, Etiopía. Entre 1900 y 1920 se establecieron cerca de 15.000 hectáreas. Después de numerosas rotaciones de rebrote, esas plantaciones continúan hasta hoy, siendo un aporte importante al abastecimiento de energía de la ciudad.

En Nueva Zelanda el Estado comenzó a establecer plantaciones con especies introducidas hacia fines del siglo XIX, al ver que las maderas nativas comenzaban a escasear. Durante los años de la depresión, a partir de 1930, el Estado plantó extensas áreas con Pino insignie (*Pinus radiata*). En esos años se estableció el famoso Kaingaroa forest, que cubre un área continua de 180.000 hectáreas. En Australia la historia es semejante. Las plantaciones con especies introducidas comienzan alrededor de 1875 y el Pino insignie demuestra ser la especie de mejor adaptación y mayor crecimiento. En 1907 comienzan las plantaciones a gran escala en el sudeste australiano, pero el gran esfuerzo se hace en los años 30, durante la gran depresión, para dar trabajo a miles de desempleados.

En Estados Unidos las primeras plantaciones se remontan a 1740, cuando en Massachusetts se establecieron bosques de encino (*Quercus sp.*) para el futuro abastecimiento de los astilleros. En 1869, Kansas, Nebraska y el territorio de

^{1/} En los estudios de FAO los datos de toda la Federación de Rusia están incluidos en Europa.

Vista parcial
de Kaingaroa
Forest en
Nueva
Zelanda.



Dakota establecen exenciones tributarias para fomentar la plantación de árboles como elemento para impulsar el asentamiento en esa región. En 1867 Michigan fue el primer Estado que creó una Comisión Forestal y en 1872 se instauró el Día del Árbol para fomentar las plantaciones. En 1873, a través del Timber Culture Act se ofreció títulos individuales de 65 hectáreas de tierra con la condición de que un cuarto fuese reforestado, lo que generó un impulso a las plantaciones, pero el gran efecto se produjo en 1905 cuando los bosques fueron traspasados desde el Ministerio del Interior al de Agricultura. En la década de los 80, las plantaciones forestales alcanzaron su máximo con aproximadamente un millón de hectáreas por año (Powers, 1999).

A pesar de que las plantaciones se remontan en la historia, su importancia comenzó a ser evidente sólo a mediados del siglo XX. En 1950 la FAO creó la Comisión Internacional del Álamo, que funciona en la actualidad y la Sub-comisión de la Teca, que en 2010 organizó una reunión mundial. Como resultado del IV Congreso Forestal Mundial organizado por la FAO y que se realizó en India en 1954, se creó una comisión para estudiar el uso de especies exóticas en plantaciones forestales en los trópicos. Ese año la FAO publicó la primera edición del libro "*Eucalyptus for planting*", que recopiló toda la información disponible sobre plantaciones con estas especies, evidenciando su importancia para la forestación alrededor del mundo. Esta obra fue reeditada en 1980. En 1967 FAO organizó el Simposio Mundial sobre Bosques Establecidos por el Hombre y su Importancia Industrial, con una gran participación. Las actas del simposio, de más de 2000 páginas, reflejan el interés que las plantaciones forestales despertaban

en ese momento alrededor del mundo. En los años 60 y acelerándose en los 70, la forestación llegó a ser un importante componente de las políticas forestales de muchos países, incluido Chile. Brasil llegó a plantar más de medio millón de hectáreas por año. En Estados Unidos, en 1988 la tasa anual de forestación alcanzó a 1,37 millones de hectáreas (Powers, 1999).

Según Evans (2009) en algunos casos el entusiasmo fue excesivo, ya que muchos bosques nativos fueron sacrificados para establecer plantaciones con la justificación de los retornos económicos. Esto sucedió en el Reino Unido, Australia y también en Chile, donde vigorosos renovales de raulí-roble fueron sacrificados para plantar Pino insigne. En algunos países tropicales la experiencia fue más dramática, ya que las plantaciones establecidas no prosperaron debido al ataque de plagas y enfermedades (Evans and Turnbull, 2004). También existen numerosos ejemplos, especialmente en África, de plantaciones que fueron establecidas sin tener en consideración aspectos relacionados con su utilización, por lo que llegado el momento de cosecharlas no existían caminos, empresas, maquinarias o mercados. Se convirtieron en leña para las poblaciones locales. Después de todo, tuvieron un fin positivo, pero no generaron los beneficios económicos esperados por quienes las establecieron.

En otros países donde la actividad forestal ha alcanzado un notable desarrollo, por ejemplo en Finlandia y Suecia, la plantación ha sido un elemento clave en la regeneración de los bosques naturales, sin que por esto pierdan la condición de "naturales" o "nativos". La misma técnica ha sido empleada para regenerar las extensas talas

realizadas en los bosques de coníferas del noroeste de los Estados Unidos y en Canadá.

En todos estos años, desde las plantaciones chinas del 2000 A.C., se ha producido un continuo avance en el conocimiento de los árboles y de sus requerimientos, pero sin duda que los mayores se han logrado en los últimos 50 años. El desarrollo de nuevas técnicas de establecimiento y manejo, incluyendo el tratamiento del suelo; los programas de mejoramiento genético; el avance tecnológico en la elaboración y uso de la madera y el desarrollo de nuevos productos, especialmente tableros, han convertido a las plantaciones forestales en un recurso extremadamente valioso, ya que permite concentrar la producción en pequeñas áreas de gran productividad. En la actualidad, el 7% de los bosques del mundo –los bosques plantados– producen cerca de dos tercios de la madera que demanda la industria forestal mundial (Evans, 2009).

Los múltiples roles de los bosques plantados

Los bosques plantados cumplen múltiples roles. Un estudio reciente realizado por FAO (2006c) revela interesantes resultados en cuanto al objetivo de las plantaciones en los distintos países. A nivel mundial, una gran proporción de los bosques se planta con fines productivos

(aproximadamente un 70%), pero existe una superficie importante de plantaciones que se ha establecido con fines preferentemente de protección, incluyendo control de erosión, recuperación de ecosistemas degradados, recreación y otros fines no relacionados con la producción industrial (Cuadro N° 1). La FAO en este caso se refiere a bosques plantados, que es un concepto más amplio que el de plantaciones forestales, ya que incluye bosques que se manejan como si fuesen bosques naturales, de ahí que también se les conozca como bosques “naturalizados”, pero que en realidad han sido establecidos por el hombre, principalmente con especies nativas. Este es el caso de gran parte de los bosques de Europa.

A nivel global, la superficie de bosques plantados “naturalizados” y plantaciones forestales es casi la misma, pero la tendencia indica que este balance está cambiando rápidamente en favor de estas últimas. En Asia, con el 42% de los bosques plantados productivos del mundo, la tasa de crecimiento de la superficie plantada es de un 3% anual, muy por sobre el promedio mundial, que fue de 1,9% anual entre 2000 y 2005.

Sin duda que el principal objetivo de los bosques plantados y particularmente de las plantaciones forestales, es la producción de madera u otros productos de uso industrial, sin embargo las plantaciones con fines de protección han aumentado considerablemente en los últimos años. De acuerdo a datos de la FAO (2006c) llegaron a 66 millones de hectáreas en el mundo, en la mayoría de los casos con el propósito de manejarlas para convertirlas en bosques semi-naturales, es decir, bosques plantados que se manejan usando métodos naturales de regeneración. El principal objetivo de éstos es la protección del suelo y del agua y la recuperación de la diversidad biológica. Sin embargo, en muchos casos se incluye la producción, en pequeña escala, de algunos productos forestales no maderables y otros cumplen también importantes funciones de recreación. Por ejemplo, Japón reporta que esta última es uno de los principales objetivos de sus plantaciones.

Todos los bosques plantados cumplen múltiples funciones y clasificarlos para uno u otro uso es bastante subjetivo. Lo más frecuente es que estos recursos tengan múltiples facetas, generando diversos productos y servicios (Carle

Cuadro
N° 1

Bosques plantados de acuerdo a su uso preferente (miles de hectáreas)

| Región | Producción | Protección / otros |
|------------------------|----------------|--------------------|
| África | 11.838 | 3.000 |
| Asia | 86.172 | 45.812 |
| Europa | 63.014 | 16.106 |
| Norte y Centro América | 27.859 | 1.190 |
| Oceanía | 3.833 | 32 |
| Sud América | 12.158 | 57 |
| Total mundial | 204.874 | 66.197 |

Fuente: FAO, 2006 c.



Bosque plantado de Cryptomeria japonica. Esta especie está fuertemente ligada a la ceremonia del té en Japón, ya que los pilares de las casas de té se obtienen de estos árboles.

et al., 2009). Aun cuando sólo representan el 2% del uso de la tierra a nivel global, los bosques plantados juegan un importante papel en la provisión de un amplio rango de productos tales como madera aserrada, pulpa, tableros, energía, más una serie de productos no maderables, entre los que destacan las frutas, resinas, miel, caucho, corcho, taninos, alimento para el ganado y otros.

Los avances de la ciencia y la tecnología han tenido un impacto importante en la productividad de las plantaciones forestales y al mismo tiempo han permitido al sector industrial una enorme diversificación en los productos, con lo cual se logra un aprovechamiento casi total de la materia prima producida. Además de los productos clásicos como madera aserrada, chapas y contrachapado, hoy se encuentran en el mercado diversos paneles reconstituidos (MDF, OSB), productos laminados, molduras y pisos, a lo que se agrega la producción de fibra textil y de combustibles derivados de madera. Los avances científicos de los últimos años no sólo han tenido un gran impacto en la productividad de las plantaciones forestales, sino que también en las opciones de uso, mejorando la eficiencia y reduciendo los costos de producción. Esto, sin duda, está abriendo nuevas perspectivas a las plantaciones forestales como respuesta a la creciente demanda de madera en el mundo.

Según un trabajo de la FAO (Carle *et al.*, 2009) es razonable estimar que los bosques plantados producen cerca de mil millones de metros cúbicos de madera anualmente. Esta cifra, aun cuando está basada en supuestos muy generales y bastante conservadores (un promedio de crecimiento de 5 m³/ha/año), permiten hacer una proyección tremendamente importante: con sólo el 7% de los bosques del mundo y empleando el 2% de la tierra disponible, en un futuro no muy lejano los bosques plantados podrían producir más de dos tercios de la madera de uso industrial. La cifra empleada para este cálculo es muy conservadora y no considera posibles ganancias en productividad por una selección de especies más rigurosa según las condiciones de sitio, ni los posibles avances en los programas de mejoramiento genético que en muchas partes del mundo son todavía incipientes. Aún existe un enorme potencial para aumentar la productividad en base al mejoramiento genético, el que no sólo está dirigido a lograr un mayor crecimiento de los árboles sino que también a mejorar las propiedades de la madera, la resistencia a plagas y enfermedades u otras características. Paralelamente, el incremento de la productividad debido a la intensificación de la silvicultura es una tendencia creciente en las plantaciones forestales destinadas al abastecimiento de la industria.

Evans (2009) señala que el abastecimiento de fibra desde los bosques plantados crecerá de manera importante en los próximos años, eliminando cualquier indicio de déficit de madera a nivel global, e incluso generando algunos excedentes que podrían producir un cambio en las tendencias de construcción, sustituyendo materiales no renovables, como el cemento y el aluminio. Hoy se está evidenciando un cambio en las preferencias de los consumidores, quienes comienzan a valorar aspectos ambientales y sociales al momento de elegir los materiales de construcción. El cambio climático es uno de los motores de esta nueva tendencia.

El uso de madera en la producción de energía es tan antiguo como la civilización y hasta hoy constituye su principal uso en muchas partes del mundo, especialmente en los países menos desarrollados. Por ejemplo, en India el 75% de la energía rural proviene de la biomasa, cifra que alcanza a más del 90% en varios países de África. En naciones desarrolladas la dependencia de la biomasa como energía es creciente, debido a que el consumo desmedido

de combustibles fósiles está amenazando con cambios irreversibles en el clima, previéndose consecuencias devastadoras en muchas regiones del mundo. Innes (2004) sostiene que la producción de energía a partir de madera, incluyendo la generación de energía eléctrica, es una función tan importante como la captura de carbono a través de plantaciones y se proyecta una creciente participación de la biomasa por sobre otros medios de generación limpia, como la energía solar.

La producción de combustibles líquidos a partir de madera, por ejemplo alcohol metílico, está convirtiéndose en una alternativa competitiva y sostenible. Sin duda que los bosques plantados jugarán un rol preponderante en el desarrollo de fuentes de energía alternativas.

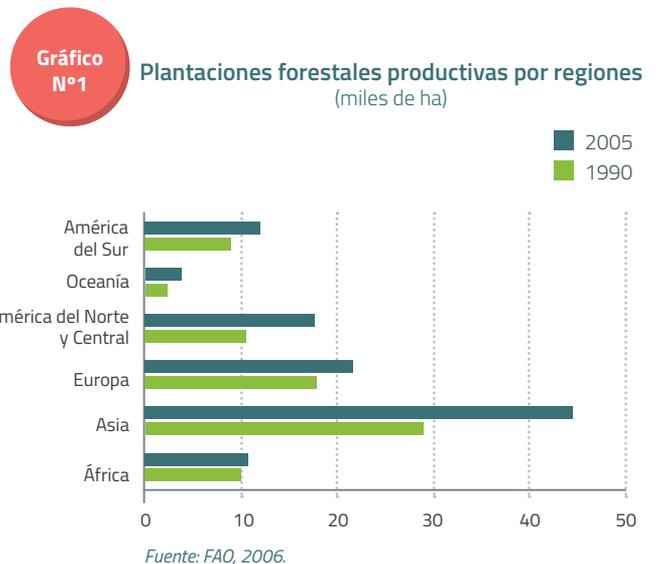


Plantación de Eucalyptus grandis en Sudáfrica. Este país presenta importantes avances en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales.

Plantaciones forestales en la producción de madera, fibra y energía

Dentro de la categoría de bosques plantados es importante destacar el aporte de las plantaciones forestales que son los bosques plantados coetáneos, con espaciamiento regular, por lo general de una sola especie de rápido crecimiento y manejados de manera intensiva con el fin de producir madera o fibra para la industria, para la generación de energía tanto de uso doméstico como industrial u otros productos o servicios.

Según la FAO (2006) las plantaciones forestales de rápido crecimiento a nivel mundial alcanzan a 110,56 millones de hectáreas, lo que corresponde al 53,9% de los bosques plantados de producción, y se han incrementado considerablemente en los últimos años, ya que en 1990 alcanzaban a 79,2 millones de hectáreas. La mayor extensión de plantaciones productivas se encuentra en Asia, donde totalizan 44,4 millones de hectáreas. La segunda región con mayor extensión de plantaciones forestales es Europa, seguida de la región América del Norte y Central con 21,65 y 17,65 millones de hectáreas respectivamente (Gráfico N°1). Por países, China es el que reporta la mayor



extensión de plantaciones con 28,5 millones de hectáreas, seguido por Estados Unidos con 17,1 millones de hectáreas.

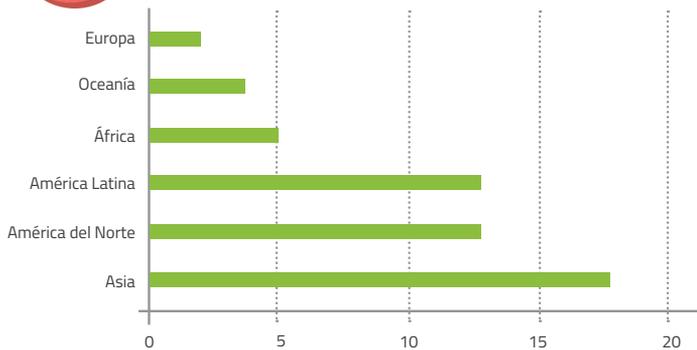
Cuando se trata de cuantificar las plantaciones productivas de uso industrial, las estadísticas de la FAO pueden entregar información un poco distorsionada por la manera en que los países informan sobre sus bosques. Hay algunos que incluyen dentro de las áreas de producción plantaciones que son claramente de protección o que han sido establecidas en áreas extremadamente degradadas, por lo que tienen escasas posibilidades de llegar a ser realmente productivas. Por otro lado, hay naciones que teniendo extensas plantaciones productivas aducen que no existe suficiente información y no informan. Por ejemplo, Canadá, de acuerdo a las estadísticas de la FAO, no tiene plantaciones forestales, por lo tanto, cuando se trata de conocer cuál es la existencia de plantaciones manejadas



Plantación de Prosopis tamarugo en el desierto de Atacama, Chile, establecida con fines silvopastorales.

Gráfico N°2

Plantaciones industriales por región
(Millones de ha)



Fuente: Indufor, 2012.

intensivamente con fines industriales, es necesario recurrir a otras fuentes de información.

De acuerdo a un estudio reciente realizado por la empresa consultora internacional Indufor (2012) para FSC², las plantaciones forestales para uso industrial en el mundo alcanzarían a 53,4 millones de hectáreas, lo que representa sólo un 1,3% de la superficie total de bosques, dato que difiere sustancialmente de la información de la FAO. De acuerdo a

este estudio la mayor superficie de plantaciones industriales se encuentra en Asia (17,7 millones de hectáreas), seguida de América del Norte (12,8 millones de hectáreas) y América Latina (12,8 millones de hectáreas). Europa, que de acuerdo a FAO es la segunda región en términos de plantaciones productivas, pasa al último lugar cuando se trata de plantaciones industriales de rápido crecimiento (Gráfico N°2). Los países con mayores superficies plantadas son Estados Unidos, Brasil y China. Chile con sus 2,6 millones

2/ Forest Stewardship Council.

de hectáreas es el sexto país del mundo en superficie plantada con fines netamente industriales.

Especies empleadas en plantaciones forestales de uso industrial

De las miles de especies forestales que existen en el mundo, no más de 30 se emplean en plantaciones destinadas a la producción de madera u otros productos. En zonas tropicales y subtropicales predominan las acacias (*A. nilotica*, *A. mangium*, *A. mearnsii*, *A. senegal*, *A. seyal*), los eucaliptos (*E. camaldulensis*, *E. grandis*; *E. saligna*; *E. urophylla*), la teca (*Tectona grandis*) y *Gmelina arborea* y algunas especies de pinos (*P. caribaea*, *P. elliotii*, *P. patula*). También, aun cuando se trata de la producción de un producto forestal no maderable, es importante el caucho (*Hevea brasiliensis*). La especie plantada con la mayor superficie a nivel mundial es *Cunninghamia lanceolata*. En climas mediterráneos y templados predominan las especies de pino (*Pinus radiata*, *P. massoniana*, *P. nigra*, *P. pinaster*, *P. sylvestris*, *P. taeda*), eucalipto (*E. globulus* spp. *globulus*, *E. nitens*) y álamo (*Populus* spp.), en tanto que en las regiones más frías se agregan especies de los géneros *Pseudotsuga*, *Abies*, *Larix* y *Picea* (Carle et al.2009).

El Gráfico N°3 muestra las especies que se emplean en plantaciones industriales. Aquí no está reflejado el uso de

Cunninghamia lanceolata o *Hevea brasiliensis*, que si bien se utilizan en la producción de madera se plantan con otros fines. En China, *C. lanceolata* se planta en bosques de protección.

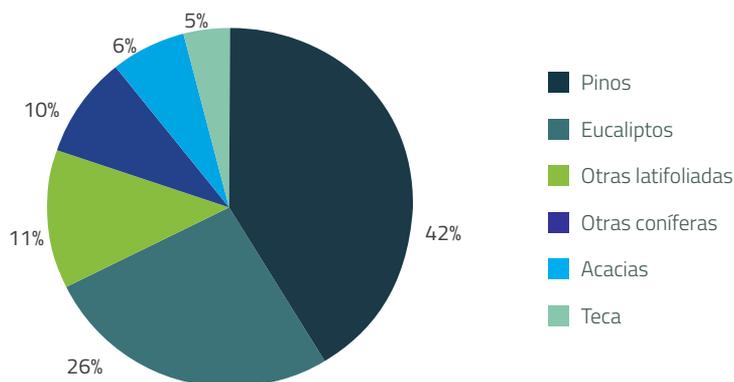
El futuro de las plantaciones forestales

La diversidad de datos sobre plantaciones y las nuevas definiciones que emplea FAO, que incorpora a las plantaciones forestales bajo el concepto de bosques plantados y a otros bosques regenerados en forma artificial, pero que se manejan tendiendo hacia una "naturalización", hace bastante difícil estimar la evolución de las plantaciones en el futuro. A pesar de esto, existe concordancia en cuanto a que éstas tendrán un incremento importante en términos de superficie y producción de madera industrial en las próximas décadas.

El estudio realizado por Indufor (2012) estima que las plantaciones con fines netamente industriales crecerán a una tasa de 2,28% entre 2012 y 2022 y 1,3% desde 2022 hasta 2050, reflejando las dificultades que existirán en el futuro en términos de tierras disponibles para forestar. De acuerdo a estas proyecciones, el área de plantaciones se extendería a 67 millones de hectáreas en 2022 para llegar a 91 millones de hectáreas el 2050. Según este estudio los mayores desarrollos tendrían lugar en Asia y América Latina (Gráfico N°4).

Gráfico N°3

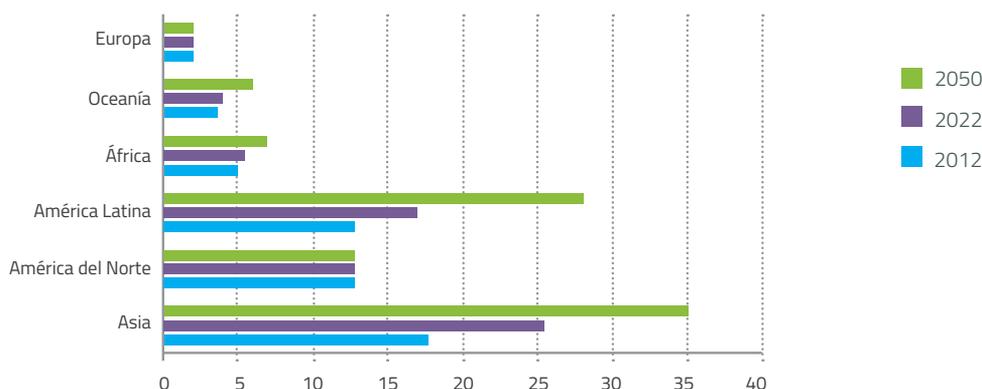
Plantaciones industriales por especie 2012



Fuente: Indufor, 2012.

Gráfico
Nº 4

Proyección de la superficie total de plantaciones industriales por región
(MM ha)



Fuente: Adaptado de Indufor, 2012.

Como ya se ha mencionado, todo indica que las plantaciones forestales irán cobrando mayor importancia en términos de producción de madera industrial. Actualmente algunas estimaciones señalan que la producción anual de madera de plantaciones industriales es cercana a los 500 millones de m³ y que podría llegar a unos 700 millones hacia el 2020 y duplicar esta cifra hacia 2050 (1.500 millones de m³). A pesar de que la mayor expansión en términos de superficie plantada se prevé que ocurra en Asia, el mayor incremento en términos de volumen producido se generaría en América Latina, que al año 2050 podría totalizar alrededor de 710 millones de m³ e incluso 950 millones de m³ en un escenario más optimista. Asia, en cambio, en el mejor escenario posible podría llegar a unos 600 millones de m³. El aumento de productividad en América Latina se generaría por el empleo de mayor tecnología (por ejemplo, las plantaciones clonales), la eficiencia en el manejo de los bosques y más demanda por madera, que produciría un incentivo adicional para incrementar la productividad.

Por otra parte, si se proyecta la oferta de madera asumiendo un incremento del estándar de vida a nivel global y no sólo por el aumento de la población, es probable que la demanda de madera alcance unos 6.000 millones de m³ hacia 2050. En este escenario las plantaciones forestales industriales cubrirían cerca del 25% de la demanda. El resto debería ser abarcado por otros bosques plantados y nativos (Indufor, 2012). Esto difiere considerablemente de los datos de FAO (2000)

que toma como base 124 millones de hectáreas de plantaciones en 1995, las cuales aportan el 22% de la madera de uso industrial y proyecta un aporte de entre 31 y 34% para el 2010; cerca de 46% en 2020 y 64% en 2050. Como ya se comentó, estas cifras no son realmente comparables, ya que FAO considera la totalidad de los bosques plantados, que incluye una superficie importante de bosques “naturalizados”.

Plantaciones forestales y captura de carbono

Los ecosistemas forestales, incluyendo su vegetación y el suelo que la sustenta, cumplen una función fundamental en la captura y almacenamiento de carbono. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) lo ha reconocido y ha generado un mecanismo destinado a reducir la deforestación y a incrementar la superficie cubierta de bosques con el fin de reducir las emisiones, por una parte, e incrementar la captura, por otra, del más importante de los gases de efecto invernadero: el CO₂. Esta iniciativa es conocida como REDD+.³ También el Protocolo de Kioto considera la forestación y reforestación como parte del denominado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). En la medida que se incrementen los compromisos de los países en cuanto a la reducción de emisiones, que es lo que se espera a partir del 2020, es muy posible que aumenten los proyectos de forestación y reforestación destinados esencialmente a la captura de carbono. También es muy probable que se acepte otro tipo de actividades relacionadas

3/ REDD+: Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques y la conservación, el manejo sostenible y el mejoramiento del stock de carbono de los bosques en los países en desarrollo.

con la plantación dentro del MDL, incluyendo plantaciones con fines silvopastorales y agroforestería.

Los bosques de rápido crecimiento, entre ellos las plantaciones forestales, son los que presentan el mayor potencial en la captura de carbono, sin embargo no resultan eficientes desde el punto de vista de su almacenamiento a largo plazo. Gran parte de las plantaciones con fines industriales son manejadas en rotaciones cortas o relativamente cortas, lo cual genera emisiones al momento de la cosecha que equiparan a las capturas. Por lo tanto, las plantaciones industriales, desde el punto de vista del balance general de emisiones y capturas, no hacen un gran aporte⁴. Sin embargo, pueden generar una serie de beneficios en términos de mitigación del cambio climático, ya que reducen la presión sobre los bosques nativos, por lo que se asegura el almacenamiento del carbono contenido en estos bosques, que es la manera más costo-efectiva de mitigación y porque la madera proveniente de plantaciones, especialmente en forma de tableros, es un material de construcción muy eficiente que puede reemplazar el concreto, aluminio y otros materiales y almacenar carbono por décadas o siglos.

Consideraciones finales

Las plantaciones forestales están presentes en la historia desde hace miles de años, pero comenzaron a tomar mayor importancia en épocas más recientes. En Europa, a partir del siglo XVIII, se hizo un gran esfuerzo por recuperar la cubierta forestal que había sido prácticamente eliminada. Posteriormente, a mediados del siglo XX, las plantaciones forestales aparecen como una importante opción para producir madera de manera más eficiente. Lamentablemente, en este afán por producir más en menos tiempo, se cometieron algunos errores de importancia, que dieron pie a severas críticas contra las plantaciones forestales, que algunos grupos han generalizado.

En el futuro se prevé un incremento de la producción de madera en plantaciones forestales, ya que se espera un aumento en el área plantada y en la productividad. Lo importante es que estas plantaciones se hagan de acuerdo al concepto de “manejo forestal sostenible” y teniendo en cuenta los

Es muy probable que la madera producida por plantaciones forestales se triplique hacia el 2050.

acuerdos internacionales relacionados a la actividad forestal, incluyendo aquellos relativos a la mantención de la diversidad biológica, el uso sostenible de la tierra y los derechos de las comunidades. La FAO, reconociendo la importancia de las plantaciones en la producción de madera en el futuro, lideró un proceso para elaborar directrices que permitan incrementar su establecimiento, asegurando beneficios económicos, sociales y ambientales y disminuyendo los posibles impactos negativos sobre las personas y la naturaleza.

Es muy probable que la madera producida por plantaciones forestales se triplique hacia el 2050. En este desarrollo, el aporte de América Latina será central, especialmente por el uso de nuevas tecnologías y un manejo forestal más eficiente. El aporte de los bosques plantados para satisfacer la creciente demanda de madera será fundamental.



4/ Es importante aclarar que este comentario se hace en el contexto de los inventarios de Gases de Efecto Invernadero que se realizan para informar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). De acuerdo a las guías del IPCC, cuando se cosecha un bosque se considera que el carbono contenido en la biomasa es emitido a la atmósfera. En la realidad, gran parte del carbono permanece en productos de madera por muchos años. La contabilidad del carbono en productos forestales cosechados se está discutiendo en la Convención y es muy probable que dentro de algunos años este criterio de oxidación inmediata cambie, con lo que el aporte de los bosques a la mitigación será, contablemente, aún mayor.

Directrices voluntarias

(FAO, 2006a)

Reconociendo la importancia que tienen los bosques plantados desde los puntos de vista económico, social, cultural y ambiental, los gobiernos y otras partes interesadas solicitaron a FAO que preparara, en colaboración con otras organizaciones, un conjunto de principios rectores a fin de generar condiciones favorables para los bosques plantados en los ámbitos político, jurídico, normativo y técnico.

En respuesta, FAO organizó un proceso de consultas, incluyendo a representantes de diversos países y organizaciones, con el fin de asegurar que estos aspectos fuesen tomados en cuenta e incorporados en el manejo de los bosques plantados de una manera equilibrada. Además, las directrices voluntarias están basadas en los acuerdos internacionales relacionados con los bosques, incluyendo los procesos sobre criterios e indicadores y el concepto de “ordenación forestal sostenible”, tienen en cuenta la legislación internacional existente y los convenios y acuerdos relacionados al diálogo específico sobre el tema forestal, a fin de garantizar que aspectos tales como el uso sostenible de la tierra, el desarrollo sostenible y los derechos humanos fuesen considerados. Aun cuando las directrices se relacionan específicamente con los bosques plantados, no deben ser consideradas de manera aislada respecto al manejo forestal. De hecho, muchos de los principios contenidos en ellas son aplicables al manejo de bosques en general.

El alcance de estas recomendaciones es mundial y abarca todos los aspectos de los bosques plantados, desde la elaboración de políticas y la planificación hasta las consideraciones técnicas de su ordenación. Las directrices se refieren a los bosques plantados que cumplen funciones productivas para el suministro de madera, fibra y productos forestales no maderables o funciones de protección para el suministro de servicios ambientales y/o sociales.

Éstas establecen un marco de trabajo que respalda el diálogo relacionado con la elaboración de políticas, legislación, normas y planes estratégicos y de manejo, el cual a su vez, ayudará a mejorar las condiciones favorables para el desarrollo de este tipo de bosques y la

capacidad y habilidad en materia de ordenación de los bosques plantados.

A continuación se presentan los 12 principios que componen estas directrices. Cada uno contiene una serie detallada de recomendaciones que facilita su interpretación y aplicación, pero que por razones de espacio no pueden incluirse en este texto.

A. Principios institucionales

Principio 1: Buena gobernanza

Tomando en consideración el marco temporal y los riesgos que conlleva el establecimiento y ordenación de los bosques plantados, así como su utilización, mercadeo y comercio, los gobiernos deberían facilitar la creación de un ambiente con condiciones económicas, jurídicas e institucionales estables a fin de fomentar la inversión a largo plazo, las prácticas sostenibles de utilización de la tierra y la estabilidad socioeconómica.

Principio 2: Toma de decisiones integrales y enfoques con múltiples partes interesadas

Tomando en consideración las interfaces polifacéticas de los bosques plantados en relación con las comunidades, la agricultura, la ganadería, los bosques de regeneración natural y la agrosilvicultura, siempre en un contexto de paisaje, los responsables de elaborar las políticas deberían fomentar la toma de decisiones en forma participativa, con las diversas partes interesadas en la planificación, ordenación y utilización de los bosques plantados.

Principio 3: Capacidad organizativa eficaz

Las organizaciones gubernamentales del sector privado y otras requieren de capacidades y habilidades para producir conocimientos, tecnología y otros servicios de apoyo destinados a una ordenación de los bosques plantados apropiada en todos los niveles.

B.Principios económicos

Principio 4: Reconocimiento del valor de los bienes y servicios

Los bosques plantados, tanto los productivos como los destinados a fines de protección, deberían ser reconocidos por los beneficios comerciales y no comerciales que aportan, incluyendo los productos forestales maderables y no maderables, así como los servicios sociales, culturales y ambientales.

Principio 5: Ambiente favorable para la inversión

Los gobiernos deberían crear las condiciones favorables para fomentar la inversión por parte de compañías de inversión e inversionistas medianos y pequeños a fin de que inviertan a largo plazo en los bosques plantados y reciban una ganancia favorable por sus inversiones.

Principio 6: Reconocimiento del papel del mercado

Para mejorar la probabilidad de alcanzar ganancias aceptables a partir de las inversiones, los inversionistas en bosques plantados, especialmente en los que desempeñan funciones productivas, deberían diseñar su propia planificación y ordenación a fin de responder a las señales provenientes de los mercados internacionales y nacionales. El establecimiento y ordenación de los bosques plantados deberían ser promovidos en función del mercado y no de la producción, a menos de que éstos hayan sido plantados con fines ambientales, de protección o por motivos cívicos.

C.Principios sociales y culturales

Principio 7: Reconocimiento de los valores sociales y culturales

Los valores sociales y culturales deberían ser tomados en cuenta a la hora de planificar, ordenar y utilizar los bosques plantados, incluyendo el bienestar y el reforzamiento de las capacidades de las comunidades adyacentes, de los trabajadores y de otros grupos de interés.

Principio 8: Mantenimiento de los servicios sociales y culturales

Equilibrar los objetivos que compiten entre sí en el ámbito

de la inversión en bosques plantados produce cambios sociales y culturales. Por lo tanto, es necesario adoptar mecanismos de planificación, ordenación, utilización y monitoreo a fin de evitar impactos adversos.

D.Principios ambientales

Principio 9: Mantenimiento y conservación de los servicios ambientales

La ordenación de los bosques plantados tendrá un impacto en el suministro de servicios del ecosistema. Por lo tanto se deberían adoptar mecanismos de planificación, ordenación, utilización y monitoreo en los bosques plantados a fin de reducir al mínimo los impactos negativos y fomentar los impactos positivos, así como mantener o potenciar la conservación de los servicios ambientales.

Principio 10: Conservación de la diversidad biológica

Los planificadores y encargados de la gestión de los recursos plantados deberían incorporar la conservación de la diversidad biológica a nivel de rodal, bosque y paisaje.

Principio 11: Mantenimiento de la sanidad y productividad del bosque

Se requiere de acuerdos en los planos nacional, sub-nacional y del bosque mismo a fin de garantizar que los bosques plantados sean manejados de manera que se mantenga y mejore la sanidad y productividad del bosque y se reduzca el impacto de los agentes abióticos y bióticos dañinos.

E.Principios relacionados al paisaje

Principio 12: Ordenación de paisajes para beneficios sociales, económicos y ambientales

En vista de que los bosques plantados interactúan y afectan otros usos de la tierra, los medios de subsistencia y el medio ambiente, habría que adoptar enfoques de planificación y ordenación integrados dentro de un paisaje o cuenca hidrográfica a fin de asegurar que los impactos corriente arriba y abajo sean planificados, manejados y monitoreados dentro de estándares sociales, económicos y ambientales aceptables.

Referencias:

ABARE y Pöyry. 1999. A study on the global outlook for plantations. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE) and Jaakko Pöyry Consulting (Asia-Pacific) Pty.Ltd.

Cao, Shixiong, G.Sun, Z. Zhang, L. Chen, Q. Feng, B. Fu, S. McNulty, D.Shankman, J.Tang, Y.Wang and X.Wei. 2011. Greening China Naturally. *Ambio*. Nov. 2011; 40(7): 828-831.

Carle, J., J. Ball and A. del Lungo. 2009. The Global Thematic Study of Planted Forests. In: *Planted Forests. Uses, Impacts & Sustainability*. Ed. by J. Evans. FAO and CABI. 213 pp.

Carle, J. and P. Holmgren, 2009. Wood from planted forests: Global Outlook to 2030. In: *Planted Forests. Uses, Impacts & Sustainability*. Ed. by J. Evans. FAO and CABI. 213 pp.

Evans, J. 2009. The history of Tree Planting and Planted Forests. In: *Planted Forests. Uses, Impacts & Sustainability*. Ed. by J. Evans. FAO and CABI. 213 pp.

Evans, J. and J. Turnbull. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics*. 3rd edn. Oxford University Press. Oxford.

FAO, 2000. The global outlook for future wood supply from forest plantations. Working Paper GFPOS/WP/03. FAO, Rome.

FAO, 2006 a. Ordenación responsable de los bosques plantados: Directrices voluntarias. Documento de Trabajo sobre los bosques y árboles plantados No. 37/S. Roma (también disponible en el sitio web www.fao.org/forestry/site/10368/en).

FAO, 2006 b. Global planted forests thematic study: Results and analysis by A. del Lungo, J. Ball and J. Carle. *Planted Forests and Trees*. Working Paper 38. FAO, Rome.

FAO, 2010. Global Forest Resources Assessment 2010. Main Report. FAO Forestry Paper 163. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2010.

Indufor, 2012. Forest Stewardship Council (FSC). Strategic Review on the Future of Forest Plantations. ID 11914. October 4, 2012. Helsinki, Finland.

Postel, S. and L. Heise. 1988. Reforesting the Earth. Worldwatch Paper 83. Worldwatch Institute, Washington D.C.

Powers, R.F. 1999. On the sustainable productivity of planted forests. *New Forests* 17: 253-306.

TCNAC.1991. The Green Historical Journey of China. The China National Afforestation Commission. 310 pp.

An aerial photograph of a vast, dense forest. The trees are a vibrant green, and the forest extends to the horizon. In the middle ground, a calm lake is visible, reflecting the surrounding greenery. The sky is clear and blue. The text is overlaid on the bottom right of the image.

Los ecosistemas forestales, incluyendo su vegetación y el suelo que la sustenta, cumplen una función fundamental en la captura y almacenamiento de carbono. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) lo ha reconocido y ha generado un mecanismo destinado a reducir la deforestación y a incrementar las superficie cubierta de bosques.



02

Las Plantaciones Forestales en Respuesta a la **DEFORESTACIÓN** y Degradación de los Suelos. El caso de Chile

La colonización y su impacto sobre los bosques

Se estima que los primeros habitantes ingresaron al territorio nacional hace aproximadamente 14.000 años. Durante el período indígena y hasta mediados del siglo 16, los efectos humanos sobre los bosques fueron muy limitados, ya que la subsistencia de estas comunidades se basaba principalmente en la recolección de frutos, la agricultura, caza y pesca.

A la llegada de los españoles el paisaje era dominado por una espesa vegetación. El padre Diego de Rosales (1601-1677) describe: "Los árboles y espesos bosques que producen las serranías y valles de este Reyno, son de todas partes espesísimos y crecen más y se multiplican con mayor lozanía en las tierras de mayor altura como Queule, Valdivia, Toltén y Chiloé". Estudios más recientes (Camus, 2006; Otero, 2006) señalan que a la llegada de los españoles ya existían grandes extensiones de tierras despejadas destinadas a la agricultura, que permitían la subsistencia de los pueblos indígenas asentados en estos territorios, cuya población se calcula en aproximadamente 1 millón de personas. Desde el río Maule hasta Magallanes, el país estaba cubierto por grandes extensiones de bosque natural, de gran biodiversidad y endemismo (Armesto *et al.*, 1994).

Los procesos de deforestación: impacto de la agricultura, la minería y la eliminación irresponsable de los bosques

A fines del siglo XVI comienza el período de la Colonia y se da inicio a la extracción de madera para la construcción y el abastecimiento de energía de las nuevas ciudades y de la nascente actividad minera en el norte y centro del país. También comienza la habilitación de tierras para la agricultura y la ganadería, especialmente en los alrededores de los principales centros poblados. Así se da inicio a un proceso sistemático de deforestación del territorio nacional que se mantiene hasta la mitad del siglo XX.

Una de las principales causas de la deforestación en la zona central del país fue la minería. En el siglo XVIII el denominado "Denuncio de Bosques"¹ permitió a los mineros disponer libremente de la madera de la vegetación circundante para la construcción de casas y combustible para la fundición de los metales (Camus, 2006). La agri-

A fines del siglo XVI comienza el período de la Colonia y se da inicio a la extracción de madera. Así empieza un proceso sistemático de deforestación del territorio nacional.

1/ De acuerdo a la legislación vigente durante la dominación española, los mineros gozaban de preferencia sobre los recursos naturales renovables y podían explotar gratuitamente el bosque o la vegetación en beneficio de la mina, sólo con solicitarlo ante un Juez. Este derecho de los mineros se conocía como "Denuncio de Bosques" y rigió hasta 1873 (Gallardo, 2013).

cultura, por su parte, comenzó a expandirse hacia el sur y los bosques fueron percibidos como una barrera contra el avance de la colonización y por ello el roce a fuego fue una práctica profusamente utilizada hasta mediados del siglo XX, por lo que incendios descontrolados quemaron millones de hectáreas de bosques, principalmente en Aisén. Lo mismo tiene que haber ocurrido en la zona centro sur de Chile durante el período de la Colonia y posteriormente en la colonización que promovió el Estado en la segunda mitad del siglo XIX.

En ese mismo período se abren mercados de exportación de trigo a Perú, Estados Unidos (California), Inglaterra y Australia, generando una enorme presión sobre los bosques de la Cordillera de la Costa, especialmente en las zonas de Biobío, Malleco y Cautín. De acuerdo a estadísticas de esa época, de 70.000 quintales métricos (qm) de trigo que se exportó en 1870 se pasó a 897.000 qm en 1885 (Camus, 2006). Desgraciadamente esta bonanza económica de la agricultura trajo consigo la destrucción de gran parte de los suelos de la Cordillera de la Costa desde la Región del Maule a la de La Araucanía. Por otra parte, la creciente demanda por madera para el desarrollo habitacional, la construcción del ferrocarril y la exportación a países vecinos, generó una gran actividad de corta de bosques, utilizando, en la mayoría de los casos, el sistema de corta selectiva o floreo para obtener las especies más valiosas como el alerce, la araucaria, el raulí y el ciprés de la Guaitecas, lo que llevó al empobrecimiento y deterioro de la mayor parte de los bosques en el valle central y los ubicados en ambas cordilleras (Otero, 2006).

No está claro cuánto bosque se perdió en este proceso de destrucción, sin embargo algunas estimaciones (Otero, 2006) indican que al inicio de la independencia habrían existido alrededor de 24 millones de hectáreas de bosque, las que se habrían reducido a algo más de 10 millones de hectáreas hacia el año 1912. El primer inventario que estudió la cubierta forestal entre las regiones del Biobío y Los Lagos, realizado por la misión Haig² en 1944, estimó que la superficie nativa alcanzaba a 16 millones de hectáreas, de las cuales 5 millones tenían posibilidades de uso industrial.

A partir de 1980 se instala en el país la polémica de la sustitución del bosque nativo por plantaciones forestales, lo que lleva a las instituciones del Estado a realizar una nueva medición de la superficie forestal con técnicas avanzadas de mensura, cuyo resultado arroja la existencia de 13,4 millones de hectáreas de bosque nativo (CONAF/CONAMA, 1999). Actualmente y de acuerdo a cifras del catastro forestal (CONAF/INFOR, 2010), la superficie de este recurso alcanza a 13,6 millones de hectáreas. Es importante destacar la importancia del Catastro y Evaluación de los Recursos Nativos de Chile y del Inventario Forestal Nacional, ya que permiten disponer de información confiable y actualizada de los recursos forestales del país.

Sin pretender justificar la destrucción de los bosques que hubo en el pasado, tanto a nivel mundial como nacional, es necesario comprender las circunstancias en que ello ocurrió. Históricamente, el aumento de población trajo aparejada la necesidad de producir más alimentos, lo que se tradujo en una presión sobre los bosques, en una época en que la abundancia del recurso no hacía prever la futura escasez y cuando sus beneficios ambientales como la captura de carbono, aguas limpias y paisajes estéticos tampoco estaban muy claros.

Efecto de la deforestación: degradación de suelos y pérdida de diversidad biológica

La destrucción sistemática de los ecosistemas nativos que se produjo a partir del siglo XVIII y que se mantuvo hasta mediados del siglo XX, trajo como resultado el deterioro del suelo, el agua y el paisaje. Las prácticas agrícolas en terrenos de aptitud forestal, especialmente en aquellos con pendientes superiores al 10%, generaron procesos de destrucción del suelo que no sólo impactaron negativamente a la agricultura, sino que embancaron los ríos y dieron origen a extensas dunas costeras, las que hoy cubren más de 80.000 hectáreas (Toro, 1998).

La erosión de los suelos constituye en la actualidad uno de los problemas ambientales más significativos del país. Un estudio realizado por el Centro de Información

2/ Misión forestal norteamericana contratada por la Corporación de Fomento (CORFO) en 1944 para evaluar el potencial de los bosques chilenos. Esta misión fue encabezada por el Dr. Irving Haig.

de Recursos Naturales, CIREN (2010), concluye que 36,8 millones de hectáreas presenta algún grado de erosión, lo que equivale al 49,1% del territorio nacional y de ellas, casi 7 millones de hectáreas presentan erosión severa o muy severa. Es en estos terrenos donde las plantaciones forestales juegan un rol fundamental, ya que además de producir madera de manera eficiente generan una serie de co-beneficios, entre los que destacan la recuperación de los suelos degradados, de la diversidad biológica y la mitigación del cambio climático. Durante los 20 primeros años de aplicación del D.L. 701, ley que bonificó el establecimiento de plantaciones, se plantó 1,2 millones de hectáreas en suelos degradados, con todos los beneficios antes mencionados (CONAF, 1998).

La deforestación del territorio nacional no sólo ha deteriorado los suelos, sino que también ha tenido un importante impacto en la diversidad biológica, lo cual es particularmente importante, ya que Chile no posee una gran biodiversidad, pero se destaca por el endemismo³ de sus componentes, lo que constituye un patrimonio genético único en el mundo.

La preocupación del Estado: primeras medidas

La preocupación por la desaparición de los bosques en Chile comenzó en la época de la Colonia (Grosse, 2009). Las "Ordenanzas de Nueva España y Leyes de India" establecían las primeras normas sobre forestación y reforestación, ya que, en relación a los bosques "ordenaba que donde no los hubiese se trate de plantar y replantar arboledas, principalmente en sitios o parajes donde en otros tiempos los hubo" (cit. en Gallardo, 2013).

Los primeros intentos de silvicultura en el país surgen de una visión pionera del gobernador Ambrosio O'Higgins, quien en 1788 prometió: "El plantío de árboles, remitiendo semillas de pino, avellano y peumo desde la frontera para que se plantasen, ofreciendo despachar a su tiempo, los que sean útiles. Los primeros se han puesto en parajes oportunos y esperamos el éxito que será muy útil si se consigue" (cit. en Camus, 2006). No está muy claro si esta iniciativa fue exitosa, pero lo que



La erosión de los suelos es uno de los principales problemas ambientales que enfrenta el país. Durante los primeros 20 años de aplicación de la ley de fomento a la forestación se plantaron 1,2 millones de hectáreas de suelos degradados.

sí lo fue y marcó el paisaje chileno fue la introducción del álamo. La tradición señala que en 1810 el sacerdote José Javier Guzmán recibió 20 álamos que había encargado a la ciudad de Mendoza de Cuyo, los que constituyeron la base para las plantaciones que se realizaron en los campos entre Copiapó y Talca. Luego se extenderían hasta el extremo sur del país.

La gran presión sobre los bosques comenzó a mediados del siglo XIX, principalmente por la habilitación de tierras para la agricultura, las faenas mineras, el abastecimiento de madera, leña y carbón para los centros urbanos y la construcción de infraestructura, incluyendo el ferrocarril. En 1864 el ingeniero Mostardi-Fioretti se refiere a la situación de los bosques de la zona centro y sur del país como "el triste cuadro de la vandálica destrucción de los bosques" (Cabaña *et al.*, 2013). Esta rápida desaparición de los bosques generó preocupación y fue la Sociedad Chilena de Agricultura (actual Sociedad Nacional de

^{3/} Endemismo es un término que indica que la distribución de una especie está limitada a un ámbito geográfico reducido y que no se encuentra en su estado natural en ninguna otra parte del mundo.

Agricultura), la que en 1870 advierte de la grave situación de los bosques e incentiva la dictación de la Ley de 1872 y el Reglamento General de Corta de 1873 (Gallardo, 2013).

Este reglamento puede considerarse como la primera ley forestal de Chile, ya que establece el concepto de conservación y los primeros incentivos a la reforestación, y constituye un esfuerzo por crear una institucionalidad forestal, estableciendo el cargo de "Inspector General de Bosques" y el primer cuerpo de guardias forestales. Además le asigna la responsabilidad de llevar la estadística de los bosques y de hacer nuevas plantaciones (Gallardo, 2013). Mediante esta ley se reglamentó el uso del fuego como herramienta para habilitar terrenos para la agricultura y se prohibió la corta de árboles donde nacen las vertientes y manantiales y los árboles que crecen desde la medianía hasta la cima de los cerros. Sin embargo, el cuerpo legal no tuvo gran impacto, ya que contravenía los usos y costumbres de los propietarios agrícolas, sumado a ello la falta de una estructura institucional que velara por el real cumplimiento de estas normas. Una demostración de su total inoperancia es que no hay ningún registro que indique que se haya establecido alguna plantación en el marco de esta ley (Camus, 2006).

Los primeros esfuerzos para la gestión de los bosques en Chile

En el año 1889 llega a Chile el doctor en ciencias naturales Federico Albert Taupp (1867-1928), contratado por el gobierno del Presidente José Manuel Balmaceda (1886-1891) con el encargo específico de preparar el Departamento de Ciencias Naturales en el Museo Nacional. Más tarde, en 1898, tomó a su cargo los estudios de zoología y botánica del Ministerio de Industria, con el objetivo de iniciar las primeras investigaciones para aclimatar especies foráneas de plantas y animales.

Albert, un hombre muy adelantado para la realidad del país en esa época, rápidamente se dio cuenta de la destrucción de los recursos naturales al recorrer las provincias, en particular de la situación de los bosques, suelos y agua. Visualizó que sin conocimiento, legislación ni institucionalidad que respaldase un cambio drástico en las políticas que regían el uso de estos recursos, Chile se enfrentaría a una catástrofe ecológica, afirmando que "los daños hechos a la nación ya

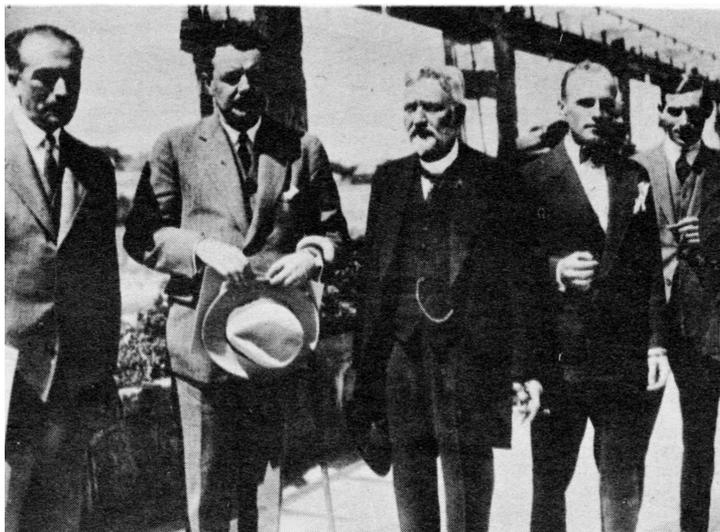
son demasiado palpables y en unos pocos años más será imposible enmendarlos" (cit. de Camus, 2006).

Federico Albert era un ferviente partidario de la reforestación de los suelos erosionados y desarbolados y para hacer frente a este problema inició los primeros estudios científicos sobre la adaptación de especies forestales en las distintas regiones del país, seleccionando aquellas que se podrían introducir considerando sus rangos de distribución geográfica y la gama de condiciones ambientales de los lugares del país donde recomendaría su plantación (Hartwig, 1994).

La Sección de Aguas y Bosques del Ministerio de Industrias publicó en los Anales Agronómicos (1908) una descripción detallada sobre las especies cultivadas en los viveros fiscales, entre las que se destacan los géneros *Eucalyptus*, *Acacia*, *Pinus* y *Pseudotsuga*. En esa publicación, Federico Albert es claro al mencionar que se trata del primer esfuerzo por identificar especies adecuadas para las condiciones de suelo y clima presentes en Chile e insiste en la necesidad de continuar con este estudio, ya que muchas de ellas habían sido recientemente introducidas, por lo tanto se requería más tiempo para sacar conclusiones y otras, aunque de larga existencia en Chile, aún no habían sido ensayadas en las condiciones más convenientes para su cultivo. Lamentablemente, pese a sus recomendaciones, la investigación no continuó y sólo 78 años después, en 1986, el Instituto Forestal publica el libro "Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile" (Prado *et al.*, 1986) basado en ensayos establecidos a partir de los años 60.

Albert publicó numerosos artículos de índole científico y divulgativo, incluyendo 16 proyectos de reglamentación sobre manejo de recursos naturales, destacando los que abordaban la fijación y repoblación de dunas. Asimismo, estableció las estaciones de ensayos botánicos y viveros fiscales de Chanco, Linares y San Fernando. Aún existen las plantaciones realizadas por el científico en Chanco, las que forman parte de la Reserva Nacional Federico Albert, administrada por la Corporación Nacional Forestal.

De particular interés resulta su propuesta para que el Estado estableciese áreas demostrativas de manejo de plantaciones y de bosque nativo para transferir a los



Federico Albert (al centro) en 1927, durante la visita de una misión forestal extranjera (Foto archivo de CONAF).

particulares las técnicas de establecimiento y manejo, considerando no sólo aspectos técnicos, sino que también económicos. Hartwig (1994) destaca la “increíble lentitud e ineficiencia del Estado” para responder a las recomendaciones de Federico Albert, quien en 1901 propuso establecer incentivos para la forestación. Recién en 1974, 73 años después de su planteamiento, se dicta el Decreto Ley N° 701, respondiendo a una clara necesidad de recuperar millones de hectáreas de suelos degradados, para lo cual era absolutamente necesario el apoyo del Estado.

También es importante destacar el aporte de Federico Albert a la institucionalidad forestal. En 1911 fundó la Inspección General de Aguas, Bosques, Pesca y Caza y luego de haber recorrido varios países de Europa estudiando la forma en que organizaban sus administraciones forestales, propondría una administración forestal nacional que consideraba la creación de una inspección general a cargo de la “supervigilancia superior del cumplimiento de las leyes y reglamentos que se dicten sobre bosques y caza, la inspección general de los trabajos prácticos que se lleven a efecto y la representación de los mismos servicios ante las autoridades administrativas superiores” (cit. de Camus, 2006). Al referirse a los trabajos prácticos, proponía el inicio de la investigación forestal.

Federico Albert, un hombre muy adelantado para la realidad del país en esa época, en 1901 propuso establecer incentivos para la forestación. Recién en 1974 se dictó el DL 701.

Con el fin de consolidar la política forestal, Albert y su equipo de trabajo prepararon un proyecto de ley inspirado en los adelantos alcanzados por las ciencias forestales en Europa, que planteaba el manejo racional de estos recursos, con una explotación regulada, sobre la base de que “la conservación de bosques encierra en sí la necesidad de cortarlos y explotarlos, a pesar de lo extraño que parezca”.

En 1912, la Inspección General de Bosques, Pesca y Caza bajo su dirección, presentó un proyecto de Ley de Bosques al Ministerio de Industrias y Obras Públicas y al Consejo de Estado, el que luego fue dado a conocer al Congreso Nacional por el Presidente Ramón Barros Luco (1910-1915). La iniciativa constaba de 12 artículos que, además de definir los terrenos forestales, contenía diversas medidas para su conservación, fomento y adecuada gestión. El proyecto se acercaba mucho al concepto actual de sustentabilidad, ya que consideraba aspectos económicos, sociales y ambientales. Además, incluía elementos relacionados con la protección física de las obras públicas, con la calidad y mantenimiento del caudal de aguas, protección del suelo contra la erosión e inundaciones y el avance de dunas; además de la conservación de la flora y la fauna. Desde el punto de vista social, destacaba la necesidad de mantener determinadas formas de vida de los pueblos. A pesar de ser una propuesta bien estructurada, no fue aprobada por el Senado y Chile debería esperar hasta 1925 para aprobar en el Congreso una ley de bosques en que se recogieron algunos de estos planteamientos (Camus, 2006).

A pesar de todos estos esfuerzos, la destrucción de los bosques continuó y como consecuencia trajo la pérdida de productividad y destrucción de los suelos. En 1958, Rafael Elizalde en su conocida obra “La sobrevivencia de Chile” señala: “Hemos aniquilado otros ocho millones de hectáreas de bosques con la secuela de 15 millones de hectáreas de tierras sin destino agrícola ni ganadero”. Esta obra fue un importante llamado de alerta y sin duda que generó una preocupación por el tema, la que años más tarde se vio reflejada en las primeras acciones concretas del Estado para revertir esta situación a través de la forestación, como la iniciativa de una ley forestal en 1966 que no prosperó y la creación de la Corporación de Reforestación en 1970.

Ley de Bosques de 1931: primer incentivo a la forestación

La base de la legislación forestal chilena es la Ley de Bosques de 1925 (Decreto N° 656 de 1925 sobre Bosques), sin embargo, la Ley de Bosques que la modifica, dictada en virtud del Decreto Supremo N° 4363 del Ministerio de Tierras y Colonización el 31 de julio de 1931, se considera como el inicio de una política que realmente incentiva el desarrollo del sector forestal. Su promulgación refleja un cambio de actitud del Estado respecto a la necesidad de generar una riqueza forestal renovable (Hartwig, 1994). Este cuerpo legal, que contemplaba la exención de impuestos sobre los terrenos plantados con especies forestales, fue en gran parte producto de las experiencias recogidas por Federico Albert y de las recomendaciones emanadas de la Conferencia Económica Social Agrícola sobre arboricultura y bosques celebrada en Santiago en 1929 (CORMA, 2002; Hartwig, 1994).

Esta ley consideraba el establecimiento de bosques de protección, la prohibición de aplicar roces a fuego en terrenos forestales y de cortar los bosques cerca de manantiales y la creación de reservas y parques nacionales, entre otras medidas. A fin de estimular las plantaciones, otorgaba beneficios fiscales eximiendo a los terrenos de impuestos territoriales. Además, las utilidades recibidas al momento de la cosecha no pagarían los impuestos de primera categoría, global complementario, tasa adicional y aquellos sobre herencias y donaciones, por un período de 30 años a partir del año en que se establecía la plantación (Gallardo, 2013).

La Ley de Bosques significó un fuerte impulso para el desarrollo de la forestación a gran escala, pues los particulares se mostraron abiertamente interesados por aprovechar los beneficios y franquicias que el cuerpo legal les proporcionaba.

La Ley de Bosques significó un fuerte impulso para el desarrollo de la forestación a gran escala, pues los particulares se mostraron abiertamente interesados por aprovechar los beneficios y franquicias que el cuerpo legal les proporcionaba. Como resultado de ello, entre 1931 y 1974 se forestaron alrededor de 300.000 hectáreas, principalmente con pino insigne (*Pinus radiata*). Estas plantaciones en su mayoría se establecieron en suelos degradados por el cultivo agrícola y constituyeron la base de la industria nacional de celulosa y papel.

Las primeras plantaciones masivas: el impulso del sector privado

El impulso privado a las plantaciones forestales comenzó a mediados del siglo XIX, cuando personas como Salvador Izquierdo, Benjamín Matte y Arturo Junge, por mencionar algunos, por propia iniciativa trajeron semillas de especies exóticas de pino insigne (*Pinus radiata*), pino marítimo (*Pinus pinaster*), pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*), acacias, eucaliptos de distintas especies y diversas variedades de álamo y establecieron plantaciones en diferentes sitios de la zona centro sur del país. Según Hartwig (1994) el gran incentivo que tuvieron los propietarios para comenzar a forestar fue la alta demanda que existía entonces por madera de pino Oregón y pino de Noruega (*Picea spp.*), ambas de reconocida eficacia en la construcción y especialmente en los encofrados de la minería.

Se estima que hacia 1886 llegaron al país las primeras semillas de pino insigne que fueron enviadas desde Es-

tados Unidos a Arturo Junge de Concepción, quien había solicitado semillas de pino Oregón. Al poco tiempo de establecida la plantación, esta nueva especie sorprendió con su velocidad de crecimiento, ya que duplicaba la del pino Oregón, adaptándose muy bien a las condiciones climáticas y de suelo en extensas zonas del país y sin duda que su introducción marca un hito en el desarrollo de la actividad forestal chilena y en la recuperación de los suelos degradados de la Cordillera de la Costa de la zona centro sur del país.

Las experiencias sistemáticas en introducción de especies realizadas por Federico Albert permitieron que en 1907 Konrad Peters, ingeniero forestal alemán quien trabajaba para la Compañía Carbonífera e Industrial Lota, iniciara con éxito las primeras plantaciones industriales en Chile, principalmente con *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*, *Acacia melanoxylon* y *Cupressus spp.* creando la base para el establecimiento de las empresas forestales que más tarde prosperaron entre Coronel y Curanilahue. Entre 1907 y 1915 Peters estableció 34.000 hectáreas de plantaciones, las que fueron manejadas en forma tan eficiente, que la misión Haig contratada por el Estado para realizar estudios sobre el patrimonio forestal de Chile, consideró que estos bosques estaban entre los científicamente más organizados del mundo (Hartwig, 1991).

Hacia 1920, pese a que las plantaciones ya cubrían más de 60.000 hectáreas (CORMA, 2002), la actividad forestal no lograba convencer a los propietarios de la tierra, debido a los altos costos del cultivo y transporte. Sin

embargo, las crecientes dificultades para abastecerse de maderas nativas, ya que los bosques se alejaban cada vez más de los centros de consumo y requerían de grandes inversiones para su explotación, encareciendo el costo de la madera, fueron las que gatillaron el interés por las plantaciones. En ese contexto, la forestación aparece como una buena alternativa para abastecer de productos madereros al país y para crear una industria forestal de carácter permanente.

Sobre la base de los buenos resultados conseguidos con el pino insigne, se dio inicio a un proceso de forestación a mayor escala y a la creación de los primeros viveros por parte de particulares. Gracias a los incentivos de la Ley de Bosques de 1931 se plantaron grandes extensiones, destacando las establecidas por la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC) en la zona de Concepción y las de Cholguán desarrolladas por la Comunidad Irrarázaval Larraín a partir de 1935. En 1952, éstas alcanzaban a 8.000 hectáreas, sentando las bases de la primera empresa industrial de madera prensada del país. También fue importante el esfuerzo realizado por la Caja Nacional de Empleados Públicos en la Provincia de Ñuble (CORMA, 2002).

La acción directa del Estado se inicia con la participación de la Corporación de Fomento, creada en 1939, que financió el establecimiento de importantes emprendimientos forestales asociada con particulares como la Sociedad Forestal Colicheu (1941), la Sociedad Agrícola y Ganadera Rucamanqui (1942), la Sociedad Forestal Maule (1942) y la Hacienda Canteras en la Provincia del Biobío, todos en base a plantaciones de pino y eucalipto (Camus, 2006).

Un hito en la historia forestal chilena se produce en 1944, cuando la Corporación de Fomento trae a Chile a un grupo de expertos de Estados Unidos, encabezado por el Dr. Irving Haig, para realizar la primera evaluación de los recursos forestales del país. La denominada "Misión Haig" y un grupo de especialistas chilenos evaluaron la situación forestal, para lo cual hicieron una prospección de estos recursos, la que constituye el primer catastro forestal realizado en Chile. Los resultados de este estudio señalaban que el patrimonio de bosque nativo era mucho menor de lo que se pensaba y que se encontraba en un

rápido proceso de disminución y degradación. También determinó que la superficie de plantaciones alcanzaba a 143.707 hectáreas, de las cuales 83.296, correspondían a pino insigne; 44.561 ha a eucalipto; 5.185 ha a álamo y 10.459 ha a otras especies. El resultado, según Hartwig (1994), significó un gran respaldo al esfuerzo privado nacional, ya que la Misión Haig señalaba que: "La creciente e importante área de bosques artificiales tiene una enorme capacidad productiva susceptible de una considerable expansión y diversificación de especies, que protegida del fuego es capaz de mantener una industria permanente varias veces superior a la actual".

La acción directa del Estado: la Corporación de Reforestación

Entre 1959 y 1964 se redujo el ritmo de forestación privado al amparo de la Ley de Bosques de 1931, lo que se debió principalmente a la incertidumbre en la comercialización de los productos del bosque, ya que en aquella época, en la práctica había un solo comprador importante de materia prima (Camus, 2006) y no se preveía la realización de proyectos industriales que pudieran utilizar la masa boscosa que ya estaba disponible para su manejo o cosecha.

Un hito en la historia forestal chilena se produce en 1944, cuando CORFO trae a Chile a un grupo de expertos de Estados Unidos para realizar la primera evaluación de los recursos forestales del país.



La Corporación de Reforestación inició sus actividades con plantaciones en la Provincia de Colchagua.

El programa tenía como objetivo recuperar suelos degradados y generar empleos para la población rural (Foto archivo de CONAF).

Durante el gobierno del Presidente Eduardo Frei Montalva (1964-1970) la política forestal adquiere una nueva dinámica al incorporarse el Estado en el esfuerzo de forestación. Eduardo Frei fue el primer Presidente de Chile que consideró el tema forestal en su programa de gobierno, prometiendo recursos para la recuperación de miles de hectáreas de tierras degradadas, a través de la forestación. Un hito en materia de esta institucionalidad lo constituye la creación de la Corporación de Reforestación (COREF) en mayo de 1970. Para asegurar el cumplimiento de su objetivo se decidió crear un organismo de derecho privado, ágil, con personal especializado y un adecuado presupuesto. El denominado "Plan Colchagua", primer programa de la Corporación de Reforestación, fue el punto de partida de las plantaciones masivas realizadas principalmente en terrenos erosionados y en desuso de la Cordillera de la Costa en las regiones de O'Higgins y Maule.

La COREF inició el proceso de forestación fundamentalmente en predios privados de la zona, proponiéndoles una asociación para plantar en conjunto, donde el propietario ponía el terreno y la Corporación plantaba, manejaba el bosque y luego lo cosechaba, repartiéndose las utilidades. En la mayoría de los casos, un 30% era para el propietario y un 70% para la Corporación. Estos llamados convenios de reforestación, basados en la experiencia española de la post-guerra, tuvieron bastante éxito, ya que entre 1970 y 1972 se plantaron cerca de 40.000 hectáreas en asociación con casi 300 propietarios agrícolas.

Es interesante mencionar que estos acuerdos acarrearón bastantes problemas al Estado unos 20 a 25 años después de establecidas las plantaciones, ya que algunos propietarios o sus descendientes, lo demandaron por haber descuidado el manejo de las plantaciones, comprometiendo la rentabilidad del negocio. CONAF

debió hacer importantes esfuerzos para regularizar esta situación.

Como se aprecia en el Cuadro N°2, el esfuerzo de los sectores público y privado entre los años 1970 y 1974 fue muy importante, especialmente si se considera que el total de las plantaciones establecidas en Chile alcanzaba a unas 300.000 hectáreas. En este período, el pino insigne sobrepasó como materia prima a las maderas nativas; del 0,5% del total de la madera aserrada en 1930, pasó a un 67,7%, en 1973, sin contar su aporte al abastecimiento a las industrias de pulpa, papel, cartones y tableros (Camus, 2006).

Este desarrollo del sector se ve reforzado por una nueva institucionalidad forestal. En 1972 la Corporación de Reforestación pasa a ser la Corporación Nacional Forestal

(CONAF), a la cual no sólo se le asignan las tareas de su antecesora sino otras relacionadas con la protección de los bosques y con la conservación de los recursos naturales en general, incluyendo la administración de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado, SNASPE.

En 1974 se aprueba el Decreto Ley N°701 de fomento forestal orientado a la protección, incremento, manejo racional y fomento de las actividades forestales. Uno de los elementos centrales del este cuerpo legal era el fomento a la forestación. Al contarse con una nueva herramienta que incentivaba la participación privada en la forestación y conservación de suelos, se inician grandes plantaciones que forman la base de los proyectos industriales que se han desarrollado en las últimas décadas.

El D.L. N° 701 pasa la iniciativa al sector privado

En el año 1974 existían en el país cerca de 300.000 hectáreas de plantaciones forestales, especialmente de pino radiata, resultado de la aplicación de la Ley de Bosques de 1931; de los esfuerzos de las empresas privadas que utilizaban las plantaciones como materia prima para sus industrias y del programa de reforestación que propició el gobierno entre los años 1969 y 1973. En 1974, el gobierno reconoció al sector forestal como estratégico en el desarrollo económico del país, debido principalmente a sus ventajas comparativas –condiciones naturales de suelo y clima– que se adaptaban perfectamente a la política de apertura al comercio exterior que estaba impulsando el país (Cabaña, 2011).

Con la dictación del Decreto Ley N° 701 como instrumento para potenciar la forestación y el desarrollo del sector, se establece una bonificación del 75% de los costos netos de forestación, incluyendo también actividades de manejo, estabilización de dunas y gastos de administración. Además exime del impuesto territorial a los

Cuadro N°2

Superficie plantada entre 1970-1974 (ha)

| Año | Sector Privado | Sector Público | Total |
|--------------|----------------|----------------|----------------|
| | (ha) | | |
| 1970 | 16.497 | 6.949 | 23.446 |
| 1971 | 11.399 | 16.647 | 28.046 |
| 1972 | 6.856 | 24.416 | 31.642 |
| 1973 | 2.897 | 27.416 | 30.313 |
| 1974 | 21.052 | 35.171 | 56.223 |
| Total | 58.701 | 110.969 | 169.670 |

Fuente: Aninat, Claro y Méndez, cit. en Cabaña, 2011.

Principales especies plantadas en Chile

Hasta el año 1988 la participación del pino insigne (*Pinus radiata*) en el total plantado en el país resultaba abrumadora con porcentajes sobre el 90%. Luego de la publicación de los resultados de la investigación “Especies forestales de interés económico para Chile”, realizada por el Instituto Forestal en base a parcelas de introducción de especies, comienza lentamente la plantación de especies diferentes, principalmente del género *Eucalyptus*. Los notables crecimientos de *Eucalyptus nitens* y *E. globulus*, y las buenas perspectivas comerciales de sus productos a nivel industrial, llevaron a forestar grandes superficies, observándose un peak de 59.000 hectáreas plantadas el año 2006. El siguiente gráfico muestra la participación de las principales especies en el total de la superficie plantada al año 2010. También se plantaron en superficies de cierta relevancia: *Pseudotsuga menziesii* (Pino Oregón), *Atriplex sp.* (forrajera), *Pinus ponderosa*, *Pinus contorta*, *Populus spp.* (Álamos).



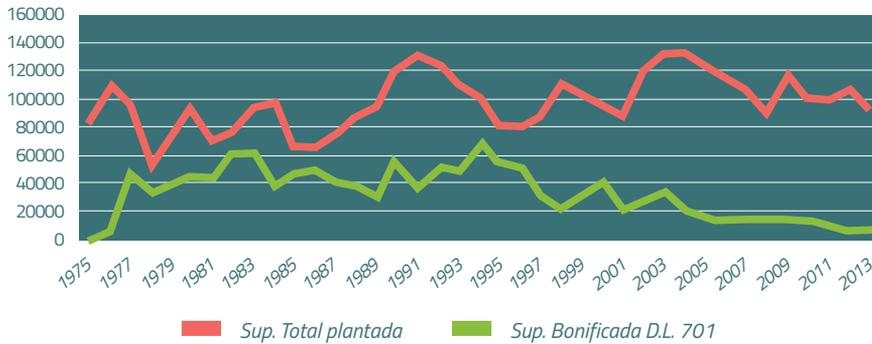
Fuente: Instituto Forestal, 2011.

terrenos forestados haciendo uso de los beneficios de esta ley, los que tampoco se incluirán en el cálculo del impuesto global complementario ni de la renta presunta. También establece una exención parcial del impuesto a las utilidades obtenidas con la explotación del bosque y declara que los terrenos incluidos en el plan de manejo de forestación serán inexpropiables.

El sector privado reaccionó favorablemente al estímulo que significó la promulgación del D.L. 701 y comenzó rápidamente a sustituir la labor de forestación que realizaba el Estado, la que se convierte en marginal a partir del año 1980 (Cabaña, 2011). El impacto de este instrumento de fomento en las tasas de forestación se muestra en el Gráfico N°5.

Gráfico
N°6

Superficie Anual de Plantación Forestal 1975-2013 (ha)



Fuente: Instituto Forestal, 2014.

Sin desmerecer los esfuerzos del Estado y particulares en establecer plantaciones hasta 1975, es imposible no relacionar el explosivo aumento de la superficie plantada con la dictación del DL 701.

La superficie total plantada incluye la plantación realizada por primera vez en terrenos desforestados (forestación) y las efectuadas después de la corta del bosque (reforestación) que son obligatorias, según lo establecido en el D.L. 701.

Tal como se aprecia en el gráfico N°6, a partir de 1975 comienzan las primeras plantaciones por parte de las empresas y forestadores privados, quienes, beneficiándose del D.L. 701, reciben sus bonificaciones en 1976, en que totalizaron 4.554,87 hectáreas. Durante los primeros 10 años de aplicación de la ley, la tasa de forestación bonificada fue de 42.000 hectáreas anual en promedio. Posteriormente se producen períodos con una ostensible disminución, sin embargo, se mantuvo una tasa anual promedio de 33.583 hectáreas entre 1976 y 2013. Es importante destacar que el promedio de plantación anual en el mismo período es cercano a las 100.000 hectáreas, considerando forestación y reforestación. En América latina sólo Brasil presenta cifras mayores.

Sin desmerecer los esfuerzos que realizaron tanto el Estado como particulares en establecer plantaciones

forestales hasta 1975, resulta imposible no relacionar el explosivo crecimiento de la superficie plantada con la dictación del D.L. 701. De acuerdo a CONAF (1998), en su evaluación de la aplicación de la ley en sus primeros 20 años, ésta constituye el más importante instrumento de la nueva política de desarrollo forestal, al bonificar a los forestadores y al mismo tiempo generar un ambiente de seguridad en materia de tenencia de la tierra y de abastecimiento de materias primas a la industria forestal, elemento que constituye un requisito mínimo indispensable para proyectos de inversión de lenta maduración. Aun cuando varios estudios sostienen que el subsidio no constituyó un gran aporte desde el punto de vista de la evaluación privada de una plantación, sin duda que generó condiciones de seguridad que permitieron reducir la percepción de riesgo propia de una actividad de largo plazo como es la forestación (Cabaña, 2011).

El D.L. 701 cumplió con su objetivo general de fomentar la actividad forestal en base a plantaciones, sin embargo quedó en deuda con los pequeños propietarios forestales. Terminado su primer período de vigencia, se constató que sólo un 5,8% de algo más de 800 mil hectáreas bonificadas pertenecía a este grupo. El 94,2% restante, pertenecía a medianos, grandes propietarios y principalmente a empresas. Con la promulgación de la Ley N° 19.561 de 1998, se dio un nuevo enfoque a la política de fomento a las plantaciones para tratar de corregir esta enorme desigualdad. La nueva ley daba continuidad al fomento a la forestación, pero poniendo a los pequeños propietarios como los principales beneficiarios y haciendo énfasis en la recuperación de terrenos degradados. Con el nuevo cuerpo legal, la distribución de los recursos empleados por el Estado para fomentar la forestación y la recuperación de suelos degradados fue un poco más equitativa, ya que el 38% de las bonificaciones fueron a pequeños propietarios forestales. Aún existen más de dos millones

Chile sufrió un fuerte proceso de deforestación para habilitar tierras para la agricultura y proveer energía para abastecer a la comunidad de combustible y madera para la construcción.

de hectáreas de suelos degradados, muchos de ellos de escasa productividad, que deberían ser forestados. Es necesario que el Estado continúe con una política de fomento a la forestación con una orientación clara en cuanto a los beneficiarios, ya que la deuda con los pequeños propietarios aún sigue pendiente. También es importante que se incorporen mecanismos que permitan establecer bosques con fines netamente ambientales, como son la lucha contra la desertificación y la mitigación del cambio climático.



Figura
N°2

Deforestación en Nueva Inglaterra a mediados del siglo XIX. Actualmente la mayoría de estas tierras está cubierta de bosques, regenerados en forma natural o a través de plantaciones (Ilustración de John Green. Gentileza de Harvard University, Harvard Forest Archives).

Consideraciones finales

Chile sufrió un fuerte proceso de deforestación, producto de la necesidad de habilitar tierras para la agricultura, de proveer energía para la fundición de minerales, de abastecer a la comunidad de combustible y madera para la construcción, entre otras necesidades. Este proceso generó grandes daños en los recursos naturales, particularmente en los suelos de la región central de Chile.

Analizando el tema hoy, se puede decir que Chile pasó por un proceso normal. Esta destrucción ocurrió en la mayoría de los países de Europa y en los Estados Unidos, los que sufrieron severos procesos de deforestación (Figura N°2). En esa época no había información sobre el estado de los recursos y no estaba clara la relación entre bosques, agua o diversidad biológica. La producción de alimentos, como es lógico, era la primera prioridad y por lo tanto era necesario habilitar tierras para la agricultura y la ganadería. Posteriormente, el avance tecnológico permitió una agricultura más eficiente y las tierras menos

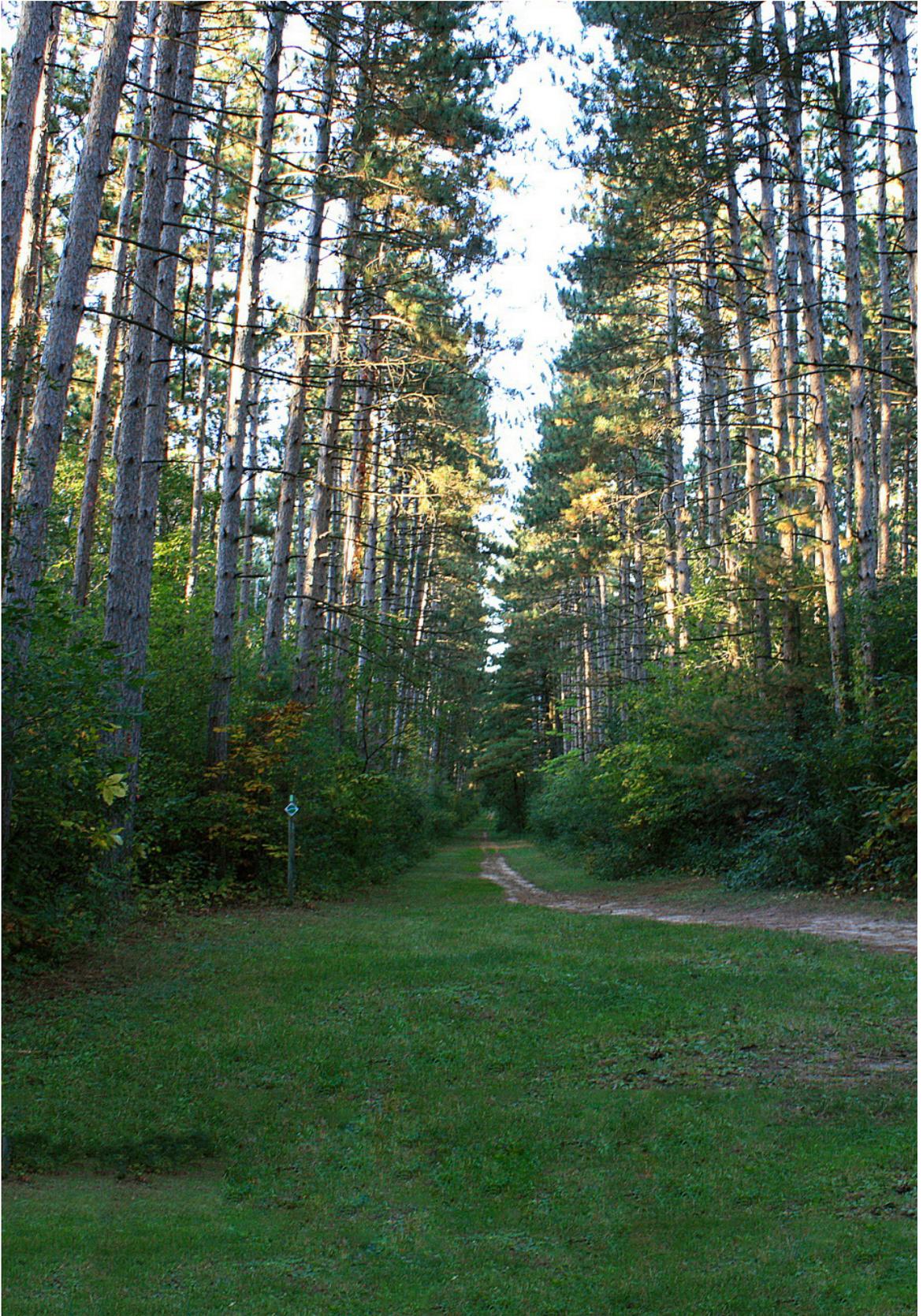
productivas fueron quedando abandonadas, expuestas a la erosión o colonizadas nuevamente por el bosque.

Lo importante es que Chile, desde comienzos del siglo XX, comienza a tomar conciencia de la magnitud del desastre que se está generando y lo enfrenta con diversas leyes, políticas, programas e institucionalidad. La actividad forestal pasó a ser la clave para la recuperación de las tierras degradadas. Gracias al esfuerzo privado y a la activa participación del Estado se plantaron grandes extensiones con especies de rápido crecimiento que han permitido el surgimiento de una importante industria que hoy constituye la segunda fuente de divisas para el país.

El desarrollo forestal de Chile a menudo se pone como un ejemplo a nivel mundial, pero es necesario reconocer que presenta importantes problemas que impiden un adecuado equilibrio del sector.

Referencias

- Armesto, J., C. Villagrán, C. Donoso. 1994.** La historia del bosque templado chileno. En Ambiente y Desarrollo-Marzo 1994.
- Cabaña, Ch. C. 2011.** Reseña histórica de la aplicación del DL 701, de 1974, sobre Fomento Forestal. Corporación Nacional Forestal. Santiago, noviembre de 2011.
- Camus, G. P. 2006.** Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile (1541-2005) Centro de Investigación Diego Barros Arana, DIBAM, Santiago de Chile, 2006.
- CIRÉN, 2010.** Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile. Síntesis de Resultados. Centro de Información de Recursos Naturales. Diciembre 2010.
- CONAF/CONAMA/BIRF. 1997.** Catastro y evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. UACH/PUC/UCT. Informe Final.
- CONAF, 1998.** Evaluación de resultados de la aplicación del DL 701 de 1974. Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal. Of. de Estudios y Planificación. Santiago, Marzo 1998.
- CONAF. 2007.** Educación Ambiental en www.conaf.cl
- Contesse, D. 1990.** El Desarrollo Forestal Chileno, Una Realidad Sustentable. Corporación Chilena de la Madera A.G.
- CORMA, 2002.** Chile, País Forestal: Una Realidad que se Consolida. Corporación Chilena de la Madera A.G. Santiago, 2002.
- Elizalde Mac-Clure, R. 1970.** La Sobrevivencia de Chile. Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero, Santiago de Chile. 2ª Edición.
- Espinosa, P. C. y M. Arqueros. 1999.** El valor de la biodiversidad en Chile. Aspectos económicos, ambientales y legales. Fundación TERRAM.
- Gallardo, E. 2013.** Manual de Derecho Forestal. Corporación Nacional Forestal. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. 266 p.
- Grosse, H. 2009.** Silvicultura del bosque nativo chileno, función histórica y opciones futuras sobre la base de manejo sustentable. Instituto Forestal, Santiago.
- Hartwig, F. 1991.** Chile, Desarrollo Forestal Sustentable. Editorial Los Andes. Santiago de Chile, noviembre de 1991.
- Hartwig, F. 1994.** La Tierra que Recuperamos. Editorial Los Andes. Santiago de Chile, agosto de 1994.
- INFOR, 2011.** Anuario Forestal 2011. Boletín Estadístico N° 132, Instituto Forestal, Santiago.
- INFOR, 2014.** Anuario Forestal 2014. Boletín Estadístico N° 144, Instituto Forestal, Santiago.
- Martínez, O. 1995.** Deterioro y recuperación de los bosques. Revista CORMA, junio de 1995.
- Otero, L. 2006.** La Huella del Fuego. Pehuén Editores. Santiago de Chile.
- Prado, J.A., S. Barros, J. Wrann, P. Rojas, D. Barros, S. Aguirre. 1986.** Especies forestales exóticas de interés económico para Chile. Instituto Forestal. Corporación de Fomento de la Producción. Gerencia de Desarrollo. AF 86/32, Santiago, mayo de 1986. Pp. 168.
- Toro, J. 1998.** Las plantaciones de pino y su aporte a la rehabilitación de los suelos erosionados. CORMA, abril 1998.



03

El Conocimiento y el Desarrollo Tecnológico en Relación a las Plantaciones Forestales **EN CHILE**

Sin duda que uno de los factores clave del desarrollo forestal de Chile ha sido la capacidad de generar conocimientos a nivel local y adaptar tecnologías de otros países que iban bastante más adelantados que Chile en materia de establecimiento y manejo de plantaciones forestales. El Estado, a través del Instituto Forestal (INFOR) hizo importantes aportes al desarrollo del sector, en distintos ámbitos, especialmente en el área de las plantaciones forestales. La visión de quienes iniciaron los trabajos de investigación en los años 60 permitió, 20 años más tarde, disponer de información muy relevante que fue la base de importantes desarrollos, por ejemplo, del modelo RADIATA y del programa de mejoramiento genético de eucaliptos. Lamentablemente este aporte no fue del todo reconocido, lo cual derivó en un debilitamiento del Instituto Forestal, que en vez de crecer a la par con el sector, fue perdiendo relevancia.

La importación de conocimientos

A pesar de los tempranos esfuerzos realizados por el Instituto Forestal, cuando las plantaciones forestales se convierten en una actividad verdaderamente importante, empleando a cientos de miles de personas en viveros, plantaciones, transporte y otras actividades de apoyo, los resultados de sus investigaciones aún no estaban disponibles, por lo que fue necesario buscar conocimientos en países entonces más avanzados en la actividad forestal.

Nueva Zelanda, Australia y Sudáfrica fueron importantes fuentes de conocimiento para las empresas forestales chilenas. Inicialmente se emplearon las técnicas desarrolladas en esos países, pero con el correr de los años, la investigación nacional realizada por INFOR, las universidades y las empresas fue generando sus propios conocimientos, respondiendo a las condiciones del país.

El aporte de Nueva Zelanda a Chile fue extremadamente relevante. Como parte del "Proyecto FAO-CHI-76-003 Investigación y desarrollo forestal" se logró un importante apoyo técnico en diversas áreas, incluyendo el estableci-

Uno de los factores clave del desarrollo forestal de Chile ha sido la capacidad de generar conocimientos a nivel local.

miento y manejo de plantaciones, mejoramiento genético, control de plagas y enfermedades, entre otras. Gracias a este proyecto se pudo contar con los aportes de los más destacados investigadores del New Zealand Forest Research Institute (FRI) entre ellos R. Burdon, R. Fenton, W. Sutton, C.J. Shelbourne, G. Sweet, por mencionar algunos, quienes hicieron un aporte muy valioso en un escenario donde los conocimientos locales eran muy básicos, ya que la actividad forestal en base a plantaciones recién estaba partiendo. Tal vez lo más importante de esta relación con Nueva Zelanda fue que los diversos actores del sector –Estado, empresas, universidades– se dieron cuenta de la necesidad de desarrollar conocimientos propios,

lo que activó la investigación forestal a distintos niveles. Esta situación felizmente coincidió con el “Proyecto FAO-PNUD -CHI-76-003 Investigación y desarrollo forestal”, que significó un aporte de recursos importante para el fortalecimiento de las capacidades de investigación forestal.

Con el apoyo del mencionado proyecto muchos profesionales chilenos visitaron Nueva Zelanda y Australia, países con gran tradición en plantaciones forestales de *Pinus radiata*, y encontraron una excelente disposición de las organizaciones locales (FRI y CSIRO¹) y de sus investigadores, quienes no dudaron en compartir sus experiencias. Años más tarde, el apoyo de CSIRO en la colecta de semillas para

El manejo de plantaciones para la producción de madera libre de nudos

La mayor influencia, especialmente en el manejo de las plantaciones, llegó desde Nueva Zelanda. Fenton y Sutton (1968) propusieron un nuevo esquema de manejo para pino radiata creciendo en sitios de alta calidad destinado a producir madera libre de nudos en rotaciones más cortas, lo cual aseguraba una mayor rentabilidad. Para esto propusieron establecer menos árboles por hectárea, realizar 3 podas entre los 4 y 9 años de edad de la plantación hasta alcanzar 6 a 6,5 metros de trozas libres de nudos en aproximadamente 200 árboles por hectárea. Después de las podas se realizaba un raleo a desecho dejando unos 350 árboles por hectárea. Luego, cuando alcanzaban los 18 metros se hacía un raleo final, para dejar los 200 árboles por hectárea que llegarían al final de la rotación a los 25 ó 26 años. Este esquema generaba una importante pérdida de volumen total, la cual debía compensarse con el mayor valor de las trozas podadas libres de nudos. Al respecto, Whiteside y Sutton (1986) señalaron que “la máxima producción de volumen, que requiere de un alto número de árboles por hectárea, es incompatible con la máxima rentabilidad”. Esto generó una nueva tendencia de manejo de plantaciones en los tres principales países productores de pino radiata: Nueva Zelanda, Chile y Australia.

En nuestro país este esquema de manejo fue adoptado por las grandes empresas forestales, e importantes áreas de plantaciones fueron podadas y raleadas para dejar cerca de 200 árboles por hectárea. Años más tarde, los resultados demostraron que no era realmente adecuado y se abandonó por diversas razones. La primera es que el desarrollo de modelos de manejo (RADIATA²) permitió pasar desde este esquema, que era bastante rígido, a otros mucho más flexibles, dependiendo de las condiciones locales. Los modelos actuales permiten simular distintas alternativas de acuerdo a

1/ Forest Research Institute y Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization.
2/ El modelo RADIATA fue el primer modelo de manejo de plantaciones desarrollado en Chile.

*Bosque manejado con
baja densidad para la
producción de madera
libre de nudos.*



las condiciones de sitio, ubicación del predio, y requerimientos de la industria, entre otras variables, generando esquemas específicos para áreas determinadas. Otra razón para dejarlo de lado es que tiene un fuerte impacto sobre el volumen total, especialmente si ambos raleos se hacen a desecho como recomienda el esquema original. La necesidad de madera para las plantas de pulpa hace que este modelo hoy sea poco recomendable. Otro elemento que incide en su menor aplicación es el desarrollo de nuevas tecnologías y productos, que permiten emplear madera corta para la producción de tableros con lo que las trozas podadas pierden importancia.

los ensayos de progenie de diversas especies de eucalipto fue fundamental. En el área de mejoramiento genético, la influencia de North Carolina State University también fue muy relevante, a través del destacado genetista Bruce Zobel. Desde Sudáfrica, la contribución de A.P Schönau en métodos de establecimiento de plantaciones de eucalipto también es digna de destacarse.

El fundamental aporte del Estado

El Estado, a través de la investigación realizada por el Instituto Forestal, hizo un aporte muy relevante a la silvicultura, especialmente en lo que respecta a las plantaciones forestales. Desde su creación, en 1961, comenzó a

establecer parcelas de ensayo destinadas a generar datos y a aportar conocimientos que más tarde probarían ser de gran importancia para el desarrollo de las plantaciones en Chile. A continuación se hace una breve reseña de las áreas de investigación más relevantes desde el punto de vista de las plantaciones forestales.

Introducción de especies

La principal especie que se planta en Chile no surgió exactamente de una investigación organizada. La historia de la semilla equivocada es bien conocida, pero vale la pena repetirla. Arturo Junge, propietario forestal de Concepción, encargó semillas de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*) para

sus plantaciones. Las sembró, plantó los árboles y al poco tiempo, probablemente un poco decepcionado porque no era la especie que él quería, vio que estos árboles crecían a una velocidad sorprendente. Averiguó que se trataba de una especie originaria de California: *Pinus radiata* D. Don. Así se inicia el cultivo de esta especie en Chile. Entre 1907 y 1912 la Compañía Carbonífera e Industrial de Lota había plantado cerca de 400 hectáreas para la producción de madera para ser empleada en las minas, pero no se usaron por mucho tiempo, ya que no “avisaban” cuando se iban a quebrar, como lo hacían otras especies, que crujían antes de colapsar, dando tiempo a los mineros a salir del pique.

Esta especie tiene una reducida distribución natural en el Estado de California, encontrándose en tres localidades costeras: Año Nuevo, Cambria y Monterrey, que le da uno

Las principales especies sobre las que se basa el desarrollo de la industria forestal de Chile, llegaron al país de manera fortuita.

de sus nombres, y en dos pequeñas poblaciones en las islas de Guadalupe y Cedros. A pesar de su limitada distribución presenta una importante variabilidad genética entre sus poblaciones, dado que éstas se desarrollaron en forma aislada (Burdon and Bannister, 1973).

La otra especie clave en la forestación del país sin duda que es el *Eucalyptus globulus*, la que más tarde fue reclasificada como *E. globulus ssp. globulus*, ya que se descubrió que pertenecía a un grupo de 4 especies estrechamente relacionadas y todas recibieron el nombre *E. globulus*.³ Esta subespecie, *E. globulus ssp. globulus*, originaria de Victoria

y Tasmania en Australia, se cree que fue introducida en Chile en 1823. También hay un poco de suerte en esto, ya que las plantas tenían como destino Perú, pero por temor a que se secaran en lo que quedaba del trayecto decidieron dejarlas en Valparaíso. Luego de ver el excelente crecimiento de esta especie, se importaron más semillas desde Francia y se hicieron las primeras plantaciones en las cercanías de Valparaíso.

Así, con un poco de suerte, estas dos especies se constituyeron en la base del desarrollo de la industria forestal de Chile.

A fines del siglo XIX se inician las primeras plantaciones en torno a las minas de carbón de Lota, empleándose un gran número de especies traídas de Norteamérica y de Europa, incluyendo pinos, cipreses, encinas y acacias, entre otras.

También es importante el trabajo de introducción de especies que hace Federico Albert para reforestación de áreas degradadas y control de dunas, como ya lo comentáramos en un capítulo anterior, quien incorpora un buen número de especies de eucaliptos y pinos, confirmando la gran adaptación y crecimiento de *P. radiata* y *E. globulus*.

Nuevas especies de interés económico para Chile

Un poco más de 60 años después de la fortuita introducción del pino insigne, se inicia un proyecto de investigación que aportaría importantes resultados para la actividad forestal de Chile. El recientemente creado Instituto Forestal, INFOR, en 1961 iniciaba su primer proyecto, denominado FS-1, Introducción de Especies Forestales.

INFOR, reconociendo la enorme variabilidad que presenta Chile en términos de clima y suelo y muy de acuerdo con los tiempos, ya que según se comentó en el Capítulo I, esos fueron los años en que se le dio mayor impulso a las plantaciones a nivel global, comenzó un importante proyecto de introducción de especies. En 1962 se establecieron los primeros 6 ensayos, entre las regiones del Biobío y de Aisén y en 1985 ya se habían establecido más de 8.000 parcelas, en unos 60 lugares entre las regiones de Coquimbo y Aisén y se habían probado 160 especies. Si se consideran subespecies, variedades y cultivares, la cifra llega a cerca de 400 taxones ensayados (Prado *et al.*, 1986).

³/*E. globulus ssp. globulus*; *E. globulus ssp. bicostata*; *E. globulus ssp. maidenii* y *E. globulus ssp. pseudoglobulus*.

Más de mil parcelas de ensayo y cientos de especies forestales se distribuyeron a lo largo del país, con el apoyo de propietarios privados y empresas forestales. Desde Fray Jorge y Peralillo en la Provincia de Coquimbo hasta Coyhaique, pasando por San Antonio de Petrel; Las Cañas en Constitución; La Leonera, en Tomé; Antiquina, al sur de Cañete; Jauja, en la precordillera de la Región del Biobío; la cuesta de Lastarria en la Araucanía; Trafún en la Región de los Lagos, entre muchas otras localidades, se establecieron, con método científico, parcelas de ensayo que generarían información de increíble valor para el sector forestal. De las 160 especies, más variedades y cultivares, sólo unas pocas fueron seleccionadas para pasar a una segunda etapa de la investigación.

Entre ellas se destacaron el Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), ya conocido en el país, la *Sequoia sempervirens*, el *Pinus muricata*, especie muy cercana al *Pinus radiata*, y las especies *Pinus ponderosa* y *Pinus contorta* para los climas más fríos. Entre las coníferas, el pino insigne ya estaba instalado y los resultados de esta investigación no hicieron más que confirmar su gran capacidad de adaptación a distintas condiciones de suelo y clima desde Valparaíso hasta Valdivia. No obstante conocerse las especies mejor adaptadas a las condiciones nacionales, era importante buscar especies alternativas o que se adaptasen mejor bajo ciertas condiciones. En 1985 se detectó en la Región de los Lagos la presencia de *Rhyacionia buoliana*, polilla del brote, y el *Sirex noctilio* ya se encontraba en Argentina. Ambas plagas constituían una amenaza mayor para las plantaciones de pino radiata, por lo que el proyecto del INFOR que buscaba ampliar la base de las especies plantadas en Chile para protegerse de este tipo de situaciones, cobraba más relevancia.

Entre las latifoliadas, diversas especies del género *Eucalyptus* mostraron crecimientos sorprendentes en distintas regiones del país. *Eucalyptus globulus* spp. *globulus*, la única especie del género plantada comercialmente hasta ese momento, confirmó ser de gran plasticidad, adaptándose a distintas condiciones desde la Región de Valparaíso a la de Los Lagos, a pesar de ciertas limitaciones en áreas con bajas temperaturas. *Eucalyptus regnans*, *Eucalyptus delegatensis* y *Eucalyptus nitens*, originarias del sureste de Australia, sorprendieron con sus increíbles desarrollos. Las parcelas de *E. nitens* establecidas en La Leonera y

Antiquina, en la Región del Biobío, alcanzaron incrementos medios anuales de 58 y 77 m³/ha/año, respectivamente, a los 15 años, casi duplicando el crecimiento del *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*. Cuando los investigadores de INFOR procesaron esos datos pensaron que había un error en la medición y midieron nuevamente las parcelas. Con la nueva información se obtuvieron los mismos resultados, confirmando el enorme potencial de esta nueva especie.

Otras que también superaron a *Eucalyptus globulus* fueron *E. regnans* y *E. delegatensis*, los grandes gigantes del bosque australiano, sin embargo no tuvieron gran aceptación entre



Plantación de *Eucalyptus delegatensis* a los 20 años en la Región de La Araucanía. Esta es una de las especies que presenta mayor crecimiento en Chile. A pesar de ello, no se ha empleado en plantaciones de gran escala.



Plantación de *Eucalyptus nitens* en la estación experimental Antiquina, Región del Biobío. A los 15 años estas parcelas experimentales presentaban un incremento medio anual de 77 m³/ha/año.⁵ Se trata de un lugar privilegiado en términos de suelo y clima.

las empresas y los forestadores, tal vez por el hecho de que no rebrotan fácilmente desde el tocón⁴, como lo hace el *E. globulus*. (Prado *et al.*, 1986). Hay trabajo pendiente con estas dos especies, ya que además de su gran crecimiento producen una madera de excelente calidad.

Frente a estos resultados, el Instituto Forestal inició la segunda etapa del proceso de selección de especies y al mismo tiempo la primera de un programa de mejoramiento genético. Se importaron desde Australia, con el apoyo de CSIRO⁶, semillas de distintas procedencias⁷ de varias especies: *Eucalyptus camaldulensis* para la zona árida y *E. globulus ssp. globulus*; *E. regnans*; *E. delegatensis* y *E. nitens*, con las que se establecieron ensayos entre las regiones de O'Higgins y los Lagos (Prado, 1988). La información generada permitió identificar las zonas de origen más adecuadas para las distintas especies. Para *E. camaldulensis*, la que se distribuye en casi toda Australia, la procedencia identificada fue el lago Albacutya, en Victoria Central (Barros, 1988). La identificación de esta procedencia de *E. camaldulensis* como la única que se recomienda plantar en Chile es tal vez lo más notable de esta etapa de la investigación, ya que la especie se encuentra distribuida en casi todo el territorio australiano, y la procedencia identificada es un área muy

reducida alrededor del lago Albacutya. Cualquier otra no se adapta bien en Chile.

En el caso de *Eucalyptus nitens*, los mayores crecimientos se lograron con semillas procedentes de Rubicon, Toorongo Plateau y Macalister, también en Victoria. En el caso de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* no hay una dominancia clara en cuanto a la procedencia de la semilla, ya que la mejor fuente de ésta varía dependiendo de las condiciones de clima y suelo del lugar en que se establezca la plantación.

Los ensayos de procedencia no sólo se limitaron a *Eucalyptus*. También se importaron completas colecciones de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus muricata*, cubriendo gran parte de su área de distribución natural. INFOR no estableció ensayos de procedencia de *Pinus radiata*, ya que las empresas, a través de la Cooperativa e Mejoramiento Genético, creada por iniciativa de la Universidad Austral, ya estaba ensayando los cinco orígenes de esta especie.

La etapa siguiente fue comenzar un programa de mejoramiento genético de las especies de *Eucalyptus* más promisorias, estableciendo ensayos de progenie. Para ello se identificaron árboles superiores en las zonas de procedencia previamente determinadas. Las progenies (o familias constituidas por plantas producidas con la semilla de cada uno de estos árboles) se establecieron en ensayos con diseños estadísticos apropiados a este tipo de investigación y luego se analizaron con técnicas estadísticas avanzadas. Éstos permiten hacer una selección, no de una zona favorable para la cosecha de semillas,

4/ Tronco que permanece en el suelo luego de cortar un árbol, que en muchas especies vuelve a brotar, dando origen a un nuevo árbol.

5/ Esta cifra representa, sin duda, uno de los mayores crecimientos registrados a nivel global. Probablemente hay una sobrestimación, producto de extrapolar las cifras desde parcelas experimentales pequeñas a la hectárea.

6/ Commonwealth Scientific & Industrial Research Organization.

7/ Procedencia: Área delimitada geográficamente en donde se colecta la semilla.

que es lo que hace la etapa de procedencias, sino que de árboles individualizados que presentan características de forma, crecimiento o densidad de la madera superiores a los demás y por lo tanto, pasan a constituir la base para la siguiente etapa del programa de mejoramiento genético.

Las empresas forestales ya habían visto una oportunidad en los eucaliptos, especialmente en *E. globulus*, pero también comenzaron a trabajar con las nuevas especies identificadas por el Instituto Forestal, especialmente con *E. nitens*, que había demostrado ser la de mayor crecimiento y lo más importante, de gran resistencia a las heladas, problema que limitaba las plantaciones de *E. globulus*. Con el fin de aprovechar mejor los recursos y de sacar partido de la seguridad que daban las empresas en el establecimiento y cuidado de los ensayos, el Instituto Forestal se asoció con éstas para establecer los ensayos. INFOR, con recursos del Estado y en colaboración con CSIRO de Australia realizó importantes colecciones de semillas para los ensayos de progenie, seleccionando en terreno árboles superiores en aquellas áreas (procedencias) identificadas en las investigaciones previas. En el caso de *Eucalyptus camaldulensis* la colección se realizó a orillas del lago Albacutya; las semillas de *Eucalyptus globulus* spp. *globulus* se obtuvieron en Victoria, en Tasmania y en las islas del Estrecho de Bass y las de

INFOR con recursos del Estado y en colaboración con CSIRO de Australia realizó importantes colecciones de semillas para los ensayos de progenie.



Bosque natural de Eucalyptus nitens en Rubicon, Victoria, Australia. Los árboles de esta procedencia están entre los que mejor se adaptan a las condiciones chilenas.

Eucalyptus nitens se colectaron en el centro de Victoria, especialmente en Rubicon, Toorong Plateau y Tallaganda. En el caso de *Eucalyptus globulus* se incluyeron semillas de un huerto semillero⁸ de la empresa APPM⁹ establecido en Tasmania, lo que estuvo a punto de generar un conflicto, ya que la semilla no había sido donada oficialmente por la empresa al INFOR, sino que fue uno de los técnicos de APPM quien autorizó a un investigador de INFOR para que cosechara un poco de semilla de algunos árboles que estaban siendo raleados¹⁰. El problema surgió cuando el jefe del programa de mejoramiento genético de APPM visitó los ensayos de INFOR, percatándose que una de las progenies provenía del huerto semillero de la empresa. El profesional no habló en varios días, hasta que constató que en todos los ensayos establecidos en Chile los árboles de las semillas del huerto de APPM no presentaban una buena adaptación. Esta breve anécdota se incluye ya que es un buen ejemplo para demostrar que las investigaciones forestales deben hacerse localmente. Lo que resulta bueno en un país no necesariamente lo es en otro.

^{8/} Los huertos semilleros están constituidos por árboles que han pasado por un riguroso proceso de selección buscando las características deseadas.

^{9/} Australian Pulp and Paper Manufacturers.

^{10/} Se supone que al ser raleados, estos árboles eran los de menor calidad dentro del huerto.

Árbol de *Eucalyptus globulus* spp. globulus en Otways, Victoria, Australia, seleccionado para los ensayos de progenie.



En el caso de *Eucalyptus nitens*, aun cuando en los ensayos se determinó que existe bastante interacción genotipo – ambiente, lo que significa que no es posible hacer recomendaciones de tipo general, ya que el factor ambiental afecta de distinta forma el comportamiento de las diversas familias, los ensayos de progenie confirmaron que los árboles provenientes de Rubicon y Toorongo Plateau son los que mejor se adaptan a las condiciones nacionales (Alvear y Prado, 1994).

En relación a *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus*, Prado y Alvear (1994) concluyeron que entre las regiones del Maule y Biobío existen 3 procedencias que definitivamente producen árboles superiores en términos de volumen: Otways (Victoria), Geeveston (Tasmania) y Central Flinders Island, en el estrecho de Bass. En la Región de Los Lagos, en cambio, las procedencias del Oeste de Tasmania y de King Island producen los árboles de mayor crecimiento.

Este trabajo de investigación que demoró aproximadamente 35 años, fue un gran aporte al sector forestal chileno. La diversificación de especies permitió establecer plantaciones en zonas donde las especies tradicionales no se adaptaban y los programas de mejoramiento genético, primero con el establecimiento de huertos semilleros convencionales y luego de huertos clonales, han permitido a las empresas un incremento considerable en la productividad de sus plantaciones. En la actualidad existen más de 740.000 hectáreas plantadas con *Eucalyptus* y casi un 30% corresponde a *E. nitens*, confirmando que el esfuerzo realizado por INFOR tuvo sus frutos. En menor medida se plantan

otras especies como *Eucalyptus regnans* y *E. delegatensis* (INFOR, 2012).

En la zona árida, principalmente entre las regiones de Coquimbo y O'Higgins, el Estado también desarrolló un interesante trabajo con distintas especies de *Eucalyptus*. Se establecieron ensayos de progenie de *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx* y *E. syderoxylon*, seleccionadas de los primeros ensayos de introducción realizados por INFOR. La capacidad de adaptación de estas especies a condiciones de aridez es notable y se ha incrementado a través de la selección genética y la hibridación¹¹.

De las parcelas permanentes de Pino insigne a los modelos de manejo

Paralelamente al proyecto FS-1 de introducción de especies, el Instituto Forestal desarrolló el proyecto FS-2, sobre manejo de plantaciones de pino insigne, el que con una gran visión estableció parcelas permanentes con distintos espaciamientos y tratamientos de podas y raleos.

11/ Cruzamiento de dos especies distintas para generar un híbrido con características de ambos padres.



Ensayo de progenie de Eucalyptus cladocalyx establecido en un área con menos de 200 mm de precipitación media anual en la Región de Coquimbo. Se ensayaron 49 familias de medio-hermanos: 47 provenientes de poblaciones naturales de Australia y 2 de fuentes de semilla nacional. El diseño es de parcelas de un árbol, con 30 repeticiones. (Foto: Sandra Perret).

Al igual que en el caso de los ensayos de introducción de especies, se establecieron cientos de parcelas en toda el área de plantación, desde la Región de Valparaíso a la de Los Lagos. Todos estos ensayos, medidos por más de 20 años¹², generaron una información que resultó ser la base del primer modelo de manejo de plantaciones de pino radiata desarrollado en los años 80 por los más destacados ingenieros forestales de la época y otros investigadores que vieron en el sector forestal un área fascinante de desarrollo profesional. El primer modelo, RADIATA, que surgió de un trabajo mancomunado de universidades, INFOR y empresas, con el apoyo del proyecto FAO-PNUD, fue un aliciente para que las empresas comenzaran a establecer sus propias parcelas permanentes y a desarrollar nuevas versiones del modelo. El desarrollo de las siguientes etapas del modelo RADIATA es un gran ejemplo de trabajo coordinado entre las distintas empresas forestales del país, que aportaron sus datos para un proceso de cálculo y modelación conjunto. Los diversos modelos desarrollados para distintas zonas y tratamientos silviculturales pusieron a Chile a la altura de países como Nueva Zelanda y Australia, que un par de décadas antes llevaban a Chile una gran ventaja en términos de manejo forestal. En la actualidad, el país exporta modelos de manejo de plantaciones a otros de América Latina.

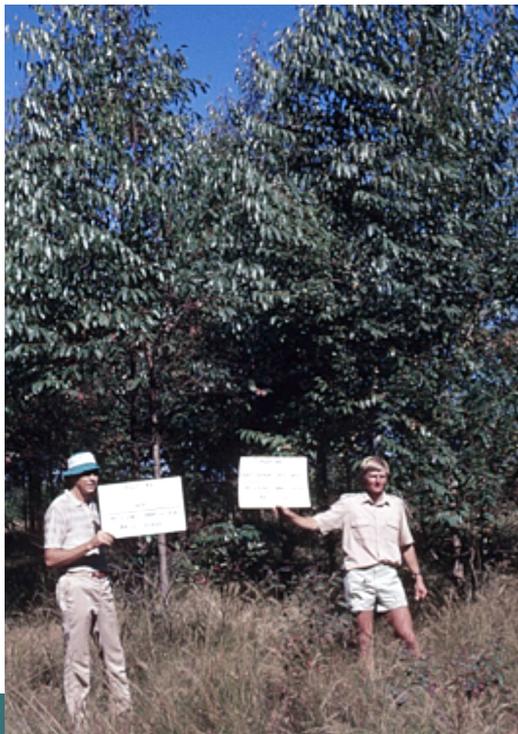
Nuevos métodos para el establecimiento de plantaciones

Otro gran aporte del Estado a la silvicultura de plantaciones en Chile se produjo también a través del Instituto Forestal. En mayo de 1984, Sudáfrica abrió sus puertas para mostrar los avances en el cultivo del *Eucalyptus grandis*, que si bien no es la especie plantada en Chile, tiene algo común a todos los eucaliptos, que es el impacto que tiene una buena técnica de plantación en su crecimiento. Sudáfrica estaba muy avanzada en la silvicultura de los eucaliptos y mostró las enormes diferencias de supervivencia y desarrollo que se producían al hacer un tratamiento profundo del suelo; controlar la competencia de la maleza y al mismo tiempo agregar una pequeña dosis de fertilizante para darle el impulso inicial al crecimiento de las plantas. Los resultados eran realmente sorprendentes.

En julio de 1984 los mismos ensayos ya estaban establecidos por el INFOR en Chile. La especie empleada fue *Eucalyptus globulus*. Pasado el verano, los resultados de estos ensayos también eran sorprendentes. El tratamiento del suelo, sumado al control de la competencia de malezas, resultaron ser verdaderamente efectivos para asegurar un buen prendimiento y posterior crecimiento de las plantas. Por ejemplo, la sola aplicación de herbicida para controlar

^{12/} La medición de las parcelas permanentes no fue fácil, ya que muchas se perdieron por diversas razones. En bastantes casos se llegaba a medirlas y se encontraban sólo los tocones, ya que habían sido explotadas por sus dueños. El no disponer de estaciones experimentales propias fue uno de los grandes problemas que enfrentó el Instituto Forestal y gran parte del esfuerzo realizado simplemente se perdió.

la competencia de las malezas aseguró una supervivencia de más del 80% en las difíciles condiciones de Casablanca, en la Región de Valparaíso. La combinación de subsolado, herbicida y fertilización en condiciones más favorables, como en San Javier, en la Región del Maule, generó un índice de biomasa¹³ más de 40 veces mayor que el del tratamiento testigo, que era el método de plantación tradicional (Prado y Wrann, 1988).



Ensayo de método de plantación en Sudáfrica. En la foto se aprecia la enorme diferencia entre la parcela establecida en la forma tradicional (delante de las personas) y las parcelas establecidas con aplicación de fertilizantes y control de las malezas (detrás de las personas). Los datos que se leen en los carteles son: Altura 1,36 m vs. 5,92 m; diámetro 0,16 cm vs. 6,44 cm y área basal 0,003 m²/ha vs. 5,43 m²/ha.

A pesar de que eran muy preliminares, el Instituto Forestal no mantuvo estos datos en reserva y en 1988 organizó un seminario en Viña del Mar. Dado que la plantación de eucaliptos estaba generando mucho interés tanto en empresas como en forestadores privados, éste tuvo una gran asistencia y su visita a terreno, en las cercanías de Casablanca, fue mucho más elocuente que todas las presentaciones. El subsolado, la aplicación de fertilizantes y especialmente, el control de la competencia generaban enormes diferencias en relación a las parcelas testigo. Las empresas forestales iniciaron sus propias investigaciones sobre el tema, y en un par de años estas técnicas pasaron a ser prácticas normales en el establecimiento de las plantaciones, tanto de eucalipto como de pino. Sin duda que éste ha sido uno de los grandes aportes de INFOR al desarrollo de la silvicultura de plantaciones en Chile. También el Instituto Forestal hizo importantes aportes en otras actividades relacionadas con el establecimiento de plantaciones, pero sin dudas que ésta fue la más relevante.

Mantenimiento de la productividad en plantaciones

En 1966, investigaciones realizadas por Keeves en Australia que reportaban una pérdida de la productividad en la segunda rotación de las plantaciones de *Pinus radiata* generaron inquietud (ver Capítulo 9) no sólo en ese país, sino que en la mayoría de las naciones en donde una parte importante de la actividad forestal estaba basada en plantaciones. Nueva Zelanda, Sudáfrica y Estados Unidos iniciaron ensayos destinados a medir la productividad en segundas o terceras rotaciones. Los resultados en general coincidieron en que el problema estaba en la pérdida de fertilidad del suelo debido a prácticas inadecuadas de cosecha y de preparación del sitio para establecer la siguiente rotación. Esto llevó al Instituto Forestal a iniciar una línea de trabajo destinada a medir el impacto de las prácticas de cosecha y tratamiento de los desechos de explotación en la disponibilidad de nutrientes de la siguiente rotación.

Para esto fue necesario desarrollar las primeras funciones alométricas¹⁴ que existieron en el país (Peters *et al.*, 1985; Prado *et al.*, 1985) con el fin de estimar la biomasa total de los árboles y el contenido de nutrientes existente en las ramas, corteza y acículas. Se trató de un trabajo pionero realizado con el apoyo de las empresas, para el cual fue

¹³/ Diámetro basal al cuadrado por la altura total.

¹⁴/ Ecuaciones que permiten estimar la biomasa de los árboles a partir de algunas variables de fácil medición.

necesario cortar y luego pesar 72 árboles adultos de pino, sacando muestras de los distintos componentes que luego eran secadas en laboratorio para calcular el peso seco y analizadas para determinar el contenido de nutrientes.

Los resultados de esta investigación, que se discuten con más en detalle en el Capítulo 9, también provocaron un fuerte impacto en la comunidad forestal. La manera de tratar los desechos de la cosecha, apilándolos y luego quemándolos, significaba una gran pérdida de nutrientes desde el sitio y ponía en peligro la productividad en el largo plazo. Las empresas forestales iniciaron sus propias investigaciones sobre el tema y a los pocos años, la quema de desechos después de la cosecha fue erradicada.

Estas son algunas de las investigaciones que realizó el Estado, a través del INFOR, que impactaron en la silvicultura de plantaciones. Aun cuando muchas de ellas fueron preliminares, tuvieron gran importancia ya que generaron una serie de estudios adicionales sobre el establecimiento y manejo de las plantaciones en empresas y universidades.

El mejoramiento genético

Sin duda que los programas más relevantes dentro de la historia de las plantaciones forestales en Chile han sido los de mejoramiento genético, cuyos primeros esfuerzos los realizó el Instituto Forestal en los años 60, en que se efectuaron las primeras selecciones de árboles "plus"¹⁵ de pino insigne (*Pinus radiata*) y se establecieron los correspondientes ensayos de progenie. Con el desmantelamiento del Instituto Forestal durante el gobierno militar, los investigadores a cargo abandonaron la institución y la información sobre estos ensayos se perdió. La entidad no volvió a incursionar en el mejoramiento genético de pino y sólo en los 90 inició un programa de mejoramiento con diversas especies de eucaliptos. Otra razón para haber abandonado esta línea tan importante de investigación fue el surgimiento de programas de mejoramiento genético en otras organizaciones como por ejemplo en el Centro de Semillas de la Corporación Nacional Forestal y en la Universidad Austral de Chile.

El mejoramiento genético en Chile está marcado por la creación de la Cooperativa de Mejoramiento Genético

Las investigaciones de INFOR impactaron en la silvicultura de plantaciones. Aún cuando fueron preliminares, generaron una serie de estudios adicionales sobre el establecimiento y manejo de plantaciones.

Forestal que promovió exitosamente el profesor Roberto Delmastro de la Universidad Austral, basándose en el modelo desarrollado por la Universidad de Carolina del Norte.

En 1976 se crea la Cooperativa, reuniendo a la mayoría de las empresas privadas que cultivaban pino radiata y a la Corporación Nacional Forestal, que ya contaba con un programa de mejoramiento de esa especie. El concepto básico de la cooperativa fue aunar esfuerzos entre las distintas empresas y organizaciones del sector de modo de reducir costos, ya que los programas de mejoramiento genético son largos y costosos y de intercambiar información, conocimientos y lo más importante, material genético sobre la base de aportes o intercambios voluntarios, ya que la cooperativa no tenía tuición sobre los programas que desarrollaban sus miembros y el material genético seguía siendo de propiedad exclusiva de cada uno de ellos.

Un par de años después de su creación, la Cooperativa comienza a generar semillas con un cierto grado de mejoramiento producto de la selección de árboles semilleros y del establecimiento de áreas productoras de semillas. La calidad de la semilla proporcionada a los miembros se fue incrementando paulatinamente y 10 años después se comenzó a plantar con material genético capaz de generar ganancias en volumen de 10 a 15%, producto de los primeros huertos semilleros. En la actualidad las empresas cuentan con huertos semilleros de segunda y

¹⁵ Arboles de características superiores.



Clones de alta calidad manejados para la obtención de estacas para su reproducción vegetativa (Foto cortesía de CORMA).

tercera generación, con cruzamientos controlados; huertos clonales y otros avances, además de laboratorios y viveros especializados que trabajan con tecnologías de punta, incluyendo micropropagación, genómica y otras técnicas.

Consideraciones finales

Hoy día gran parte del conocimiento que se emplea en el establecimiento y manejo de las plantaciones forestales se genera a nivel local. Actualmente son las propias empresas forestales las que se encargan de llevar a cabo la investigación que necesitan. Lamentablemente, el Instituto Forestal no logró capitalizar las oportunidades que se generaron durante el período de expansión del sector forestal. Si bien hizo importantes aportes, como se menciona en este capítulo, sus investigaciones fueron perdiendo relevancia en el tema de las plantaciones forestales, y hoy sólo mantiene el programa de mejoramiento genético de eucaliptos en colaboración con las principales empresas forestales y el apoyo de especialistas internacionales. Lo mismo se puede decir de las universidades, que han ido perdiendo presencia, con la excepción de algunos proyectos que han logrado mantenerse en el tiempo, como la Cooperativa de Mejoramiento Genético y el consorcio destinado al desarrollo y administración de los modelos de manejo. Esta situación, con predominio de la investigación privada, sin duda que marca una tendencia

digna de ser destacada. Reconociendo la importancia de que la empresa privada se involucre en actividades de investigación, en el caso de la investigación forestal en Chile constituyó una limitación al desarrollo del sector fuera del ámbito de las grandes empresas. El hecho de que éstas estuviesen investigando sobre el establecimiento y manejo de plantaciones afectó la capacidad de estudio del Estado que consideró innecesario seguir invirtiendo en esa área, lo cual afectó la disponibilidad de información pública sobre el tema, reflejando una falta de visión por parte de las organizaciones del Estado, que en vez de abandonar la investigación debieron buscar algún tipo de asociación.

A pesar de que ya han transcurrido más de cuarenta años desde que se iniciara el desarrollo del sector en base a plantaciones, aún quedan muchas cosas por investigar. La mantención de la productividad en el largo plazo; el impacto de nuevas prácticas de cosecha; el uso de los desechos en la producción de energía y su impacto en la productividad a largo plazo; el impacto de las plantaciones en la producción de agua, el impacto social de las plantaciones, el impacto del cambio climático sobre las plantaciones, son algunos temas que sin duda requieren de mayor investigación. El avance en el conocimiento de muchos de estos temas es de clara responsabilidad del Estado, por lo que debería reforzar su capacidad de investigación forestal.

Referencias

- Alvear, C. y Prado, J.A., 1994.** Desarrollo y parámetros genéticos de *Eucalyptus nitens* en el centro y sur de Chile. En: Actas Simposio Los eucaliptos en el desarrollo forestal de Chile. Pucón, Chile. 24 al 26 de noviembre de 1993. pp: 81-96.
- Barros, S., 1988.** Adaptación de Diversas Procedencias de *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus globulus* a la Zona Semiárida Chilena. En: Simposio Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Actas. Viña del Mar, Chile. 9-10 jun.1988. INFOR - CORFO, 1988. 356 pp.
- Burdon, R.D. and M.H. Bannister. 1973.** Provenances of *Pinus radiata*: their early performance and silvicultural potential. New Zealand Journal of Forestry 18: 217-232.
- Fenton, R.T. and W.R.J. Sutton. 1986.** Silvicultural proposals for Radiata Pine on high quality sites. New Zealand Journal of Forestry. 13 (2): 220-228.
- INFOR, 2012. Anuario Forestal 2012.** Boletín Estadístico N°136. Santiago, Chile. Pp. 138.
- Keeves, A.1966.** Some evidence of loss of productivity with successive rotations of *Pinus radiata* in the South East of South Australia. Australian Forestry 30 (1), 51-63.
- Kunz, M., S. Aguirre, R. Peters y J.A. Prado 1985.** Efecto de la utilización de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la mantención de la productividad del sitio. En: *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Eds. B. Olivares y E. Morales. 24 a 26 octubre 1985. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.
- Peters, R.; J. A. Prado; S. Aguirre; M. Kunz; V. Cubillos. 1985.** Mantención de la productividad de sitio para *Pinus radiata* D. Don. Funciones de biomasa. Instituto Forestal. Santiago. 64 p.
- Prado, J.A., R. Peters, S. Aguirre y M. Kunz. 1985.** Funciones de biomasa para bosques adultos de *Pinus radiata*. En: *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Eds. B. Olivares y E. Morales. 24 a 26 octubre 1985. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 325-329.
- Prado, J. A., 1988.** Selección de Procedencias de Varias Especies del Género *Eucalyptus* para la Zona Centro – Sur de Chile. En: Simposio Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Actas. Viña del Mar, Chile. 9-10 jun.1988. INFOR CORFO, 1988. 356 pp.
- Prado, J.A., S. Barros, J. Wrann, P. Rojas, D. Barros, S. Aguirre.1986.** Especies exóticas de interés económico para Chile. Instituto Forestal; Corporación de Fomento de la Producción. Gerencia de Desarrollo AF86/32, Santiago, mayo de 1986.
- Prado, J. A. y J. Wrann. 1988.** La Importancia de la Preparación de Sitio y la Fertilización en el Establecimiento de Plantaciones de *Eucalyptus*. En: Simposio Manejo Silvícola del Género *Eucalyptus*. Actas. Viña del Mar, Chile. 9-10 jun.1988. INFOR : CORFO, 1988. 356 pp.
- Prado, J.A. y Alvear, C. (1994)** Resultados de ensayos de procedencias y progenies de *Eucalyptus globulus* en la zona centro – sur de Chile. En: Actas del Simposio Los eucaliptos en el desarrollo forestal de Chile. Pucón, Chile. 24 al 26 de noviembre de 1993. pp: 81-96.



04 Los Riesgos del **MONOCULTIVO**

Las discusiones sobre las ventajas y desventajas de los monocultivos forestales están absolutamente ligadas a las plantaciones forestales, que en su mayoría están constituidas por una sola especie. Las plantaciones chilenas caen en la categoría de monocultivos, ya que son bosques plantados por el hombre, en grandes extensiones y con una sola especie. Esto trae consigo ciertos riesgos, pero en la actividad forestal plantar un área con una sola especie tiene la misma lógica que tiene la plantación de un huerto de manzanas. Jamás se plantan manzanas mezcladas con duraznos, por razones obvias. Sin embargo, esto parece no ser tan obvio cuando se trata de plantaciones forestales. Los monocultivos forestales, a diferencia de los de la agricultura, generan reacciones negativas. La mayoría de los detractores de los bosques plantados y especialmente de los monocultivos, basados en el hecho de que los ecosistemas con mayor diversidad son, por lo general, más estables, asumen que las plantaciones, al ser estructural y biológicamente muy simples, son inestables y en consecuencia mucho más susceptibles a la destrucción por agentes naturales, además de no ser sustentables en el largo plazo.

Antes de entrar en esta discusión es necesario reconocer que las plantaciones forestales presentan riesgos importantes desde el punto de vista sanitario y de la propagación de incendios forestales. Una masa de árboles homogénea y por lo general densa, sin duda que hace más fácil la propagación de una plaga o de un incendio. Las plantaciones a las que no se les ha hecho ningún tratamiento para reducir combustible, se pueden quemar de manera uniforme y severa (Powers, 1999).



Las plantaciones forestales tienen un mayor riesgo de propagación del fuego que los bosques nativos, ya que se trata de bosques densos y uniformes (Foto Archivo FAO).

En relación al tema de las plagas, la susceptibilidad no siempre surge del hecho de plantar una sola especie; existen otras razones relacionadas al manejo de estas plantaciones.

Evans (2009) señala que en general se acepta que las plantaciones son más susceptibles a las plagas y enfermedades que los bosques de mayor diversidad, ya que es reconocido que la estabilidad de un ecosistema y sus especies está directamente relacionada con su diversidad, pero no hay una opinión unánime al respecto. Graham and Knight (1965) coinciden en que mientras mayor sea la diversificación de especies, el ataque de insectos será menos frecuente, respondiendo al principio ecológico general que dice que el grado de estabilidad ambiental está en directa relación con el número de especies que conviven en un determinado ambiente. Para Murdoch (1975), en cambio, esta relación

no es tan clara, ya que señala que al comparar diferentes comunidades naturales no se encuentra correlación entre número de especies (o cualquier otro indicador de diversidad) y estabilidad.

Bain (1981) señala que a pesar de que los ataques de plagas y enfermedades en plantaciones son, por lo general, considerados una consecuencia de la reducción extrema de la diversidad, es sorprendentemente difícil encontrar ejemplos bien documentados. En todo caso, está claro que estos ejemplos existen. En 1962, la avispa de la madera *Sirex noctilio* fue detectada en Victoria, Australia. Sólo 10 años después ya había destruido cerca del 12% del volumen comercial existente en plantaciones de *Pinus radiata*, a pesar de los esfuerzos de control biológico. En algunas áreas, especialmente en bosques no manejados y bajo

En general se acepta que las plantaciones son más susceptibles a las plagas y enfermedades que los bosques de mayor diversidad, pero no hay una opinión unánime al respecto.

El ataque de Dendroctonus ponderosae provocó la muerte de millones de hectáreas de bosque de Pinus ponderosa en Canadá. La causa de este desastre no es el hecho de que el bosque este constituido por sólo una especie, sino que la aplicación de un concepto de manejo forestal errado (Foto archivo FAO).



condiciones de estrés hídrico, la plaga había matado dos tercios de los árboles (Powers, 1999).

Gibson y Jones (1977, cit. por Mead, 2013) sostienen que la mayor susceptibilidad a las plagas y enfermedades de una plantación está más en el hecho de ser un bosque plantado que en la condición de ser monoespecífico, basándose en que existen cientos de millones de hectáreas de bosques de una sola especie que son muy estables ecológicamente. Lo mismo sostenían Graham and Knight (1965) en cuanto a que los bosques naturales constituidos por una sola especie, por ejemplo *Pinus ponderosa*, no eran susceptibles a la devastación por plagas.

Lo sucedido en Canadá con el ataque del escarabajo del pino ponderosa (*Dendroctonus ponderosae*) abre una serie de

interrogantes en cuanto a la estabilidad de un bosque nativo de sólo una especie. En este caso, debido al aumento de las temperaturas mínimas invernales, el escarabajo comenzó a expandir su área de distribución hacia el norte y este del país, encontrando bosques puros de *Pinus ponderosa* y condiciones óptimas para su reproducción, ya que el área estaba libre de sus enemigos naturales. A partir del año 2005 la plaga se expandió significativamente, invadiendo nuevas áreas al este de las Montañas Rocosas, al noreste de la Columbia Británica y al norte de la provincia de Alberta. El ataque había causado la muerte de unos 18 millones de hectáreas de bosques hasta el año 2013. El volumen de árboles muertos se estima en unos 723 millones de metros cúbicos de madera comercial¹ (NRC, 2014). Sin analizar sus causas, este caso estaría reforzando la teoría de la susceptibilidad de los bosques de una sola especie.

Lo interesante de este desastre “natural” es que no sólo se debió al incremento en las temperaturas, sino que en gran parte a la intervención humana. Lo normal es que los bosques de esta región del mundo se vean afectados por grandes incendios generados por tormentas eléctricas que son fundamentales dentro del ciclo de regeneración natural de sus especies. Por décadas Canadá se esforzó, y con gran éxito, en el control de estos grandes incendios forestales, con lo cual alteró los procesos naturales de regeneración, provocando un envejecimiento general del bosque que en los últimos 100 años pasó de una edad promedio de 51 a 114 años (E. Allen, com. personal), disminuyendo su resistencia al ataque del escarabajo, el cual, en condiciones normales no mata a los árboles jóvenes. Frente a esta nueva condición del bosque con predominancia de árboles maduros muy susceptibles, el insecto encontró las condiciones óptimas para su proliferación y el daño en las áreas atacadas fue casi total.

Por lo tanto, el problema no se genera por el hecho de que el bosque está constituido esencialmente por una sola especie, sino que surge de casi un siglo de un manejo forestal equivocado, en este caso, un control excesivo de incendios forestales que generó las condiciones para el ataque devastador del insecto, el que asociado a los hongos *Ophiostoma montium* y *Grosmania clavigera*, causó la muerte de millones de árboles.



Trozas de un árbol de eucalipto muerto por ataque de *Phorachanta semipunctata*. El insecto taladrador de la corteza mata sólo a los árboles que crecen en condiciones de sitio inadecuadas (Foto archivo CONAF).

¹Aproximadamente el volumen que se ha cosechado en Chile en los últimos 25 años.

Los potenciales problemas de plagas en plantaciones no necesariamente surgen del hecho de plantar una sola especie, sino que de generar condiciones que hagan propicio su ataque.

Esta situación se puede extrapolar a las plantaciones forestales. Los potenciales problemas no necesariamente surgen del hecho de plantar sólo una especie, sino que de generar condiciones que hagan propicio el ataque de una plaga o enfermedad. Volviendo al ejemplo del *Sirex noctilio* en Australia, lo que generó el desastre fue la excesiva densidad de las plantaciones, en otras palabras, la falta de un manejo adecuado. En Nueva Zelanda, entre 1946 y 1951, el *Sirex* arrasó con cerca 40.000 hectáreas de plantaciones de pino radiata, debido a condiciones favorables generadas por falta de manejo y sequía. Desde entonces no ha habido otro ataque de importancia, ya que los bosques se han manejado apropiadamente. La prevención de las epidemias de *Sirex* es un tema esencialmente silvicultural (Mead, 2013).

En Chile, una plantación de *Eucalyptus globulus* realizada en un sitio con limitaciones en la disponibilidad de agua, es casi cien por ciento seguro que será rápidamente atacada por el insecto taladrador de la corteza *Phoracantha semipunctata*, que en un par de años matará gran parte de los árboles de la plantación. Por el contrario, si ésta se encuentra en un buen suelo y con buena disponibilidad de agua, la *Phoracantha* no constituye un problema. Cuando apareció este insecto en Chile algunos entomólogos locales fueron enfáticos en señalar que éste era el fin del cultivo del *Eucalyptus* en el país. Su error fue no considerar que el ataque se produce solamente donde se dan condiciones generadas por mal manejo y estrés.

Un bosque de *Pinus radiata* plantado en condiciones de mucha humedad o en un área donde la niebla sea frecuente,

será rápidamente afectado por *Dothistroma pini*. Una poda exagerada puede favorecer el ataque de *Sphaeropsissa pinea* (sin. *Diploidea pinea*). Así, en el mundo hay miles de ejemplos de plantaciones que han sido devastadas por plagas y enfermedades debido a problemas en su establecimiento y manejo, incluyendo especies inadecuadas para las condiciones de sitio; densidad excesiva y deficiencia de nutrientes, entre otros. Estos errores de manejo son los que llevan a los críticos desinformados a sostener que todas las plantaciones son extremadamente susceptibles a plagas y enfermedades.

Otro factor que puede jugar en contra es la plantación de una especie con una base genética muy restringida, lo cual limita aún más la variabilidad, aumentando la susceptibilidad al ataque de plagas o enfermedades, cuando se dan las condiciones. Una base genética restringida también puede dar origen a árboles más débiles por problemas de endogamia².

Wainhouse (2005) señala que hay bastante evidencia en cuanto a que el daño de plagas y enfermedades puede ser mayor en un bosque de una especie comparado con un bosque mixto, pero el mismo autor señala que plantar 2 ó 3 especies mezcladas no asegura inmunidad frente al problema. Otro aspecto que destaca es el hecho de que las plantaciones por lo general se hacen con especies introducidas que en un comienzo se ven favorecidas por la ausencia de plagas y enfermedades que las afecten. El problema surge cuando se introduce una nueva plaga, que como nueva especie goza de las mismas ventajas –no

²/ Reproducción entre árboles que están genéticamente muy relacionados.



tiene enemigos naturales— por lo que puede expandirse con gran rapidez, dificultando su control.

Gadgil y Bain (1999) coinciden en que plantar con especies introducidas por lo general representa una ventaja frente a las nativas, ya que no están expuestas a sus enemigos naturales. Estos autores concluyen, después de haber estudiado plantaciones con diversas especies, como *Pinus radiata* y *Eucalyptus nitens*, que hay menos problemas con plantaciones de especies introducidas, siempre y cuando estén plantadas en un sitio adecuado y lejos de su lugar de origen. Éste, claramente, ha sido el caso de los *Eucalyptus* en Chile, en donde numerosas especies muestran una excelente adaptación. Por el contrario, en Nueva Zelanda,

con condiciones climáticas muy semejantes a las chilenas, las plantaciones de *Eucalyptus* nunca han prosperado, ya que debido a su proximidad con Australia, casi junto con las especies forestales se introdujeron sus plagas naturales.

Es necesario señalar que la lejanía de su lugar de origen es una ventaja que tiende a desaparecer a pasos agigantados. Los viajes intercontinentales y especialmente el comercio globalizado hacen extremadamente difícil evitar la introducción de nuevas especies de plagas y enfermedades, a pesar de los esfuerzos que realizan muchos países, entre ellos Chile.

Otro elemento preocupante es el cambio climático, que puede generar importantes condiciones de estrés en las

plantaciones, lo que puede permitir el desarrollo de un ataque devastador. A esto debe sumarse el hecho de que condiciones de mayor temperatura pueden aumentar la virulencia y la velocidad de reproducción de muchas plagas y enfermedades (Alfaro *et al.*, 2010).

En Chile se han introducido numerosas plagas y enfermedades que representan un importante riesgo para las plantaciones, tanto de pino como de eucalipto, ya que pueden generar un severo daño en los árboles y también afectar el valor de los productos.

Entre estas especies se pueden mencionar *Rhyacionia buoliana*, *Sirex noctilio*, *Sphaeropsissa pinea*, que constituyen potenciales amenazas para las plantaciones de *Pinus radiata*; en tanto que *Phoracantha semipunctata* y *Gonipterus scutellatus*, son las más importantes cuando se trata de plantaciones de eucaliptos.

En todo caso, la presencia de estas especies no pone en peligro la existencia de las plantaciones. La polilla del brote (*R. buoliana*) fue introducida en Chile hace más de 30 años y si bien ha generado gastos adicionales en el manejo de las plantaciones de pino, en ningún caso ha puesto en peligro su existencia o rentabilidad. Lo mismo sucede con los eucaliptos y el escarabajo *Phoracantha semipunctata*. Si las plantaciones han sido establecidas en el sitio adecuado y se manejan considerando los riesgos fitosanitarios, las plagas por lo general no constituyen un factor crítico para su desarrollo, aunque constituyen un costo adicional, ya que es necesario invertir en programas de control.

Todo indica que las plantaciones forestales seguirán aumentando su importancia en los próximos años, especialmente como proveedoras de materia prima para la industria. Es indiscutible que constituyen la manera más eficiente para producir madera. Lo importante es que se hagan de la manera adecuada. Para esto la FAO (2006), reconociendo la importancia de las plantaciones para satisfacer la futura demanda de madera, publicó las "Directrices voluntarias para el manejo responsable de los bosques plantados"³, que presentan 12 principios básicos incluyendo aspectos económicos, sociales, culturales y ambientales. Éstas han sido muy bien recibidas,

³/Ver recuadro en Capítulo 1, páginas 18 y 19.

Los riesgos propios de los monocultivos pueden ser considerablemente reducidos si se elige la especie, el sitio y el manejo adecuado.

especialmente en Asia, que es donde se establecen más plantaciones y ya han sido traducidas a varios idiomas de esa región.

Consideraciones finales

Sin duda que los monocultivos tienen ciertos riesgos asociados especialmente cuando se trata de incendios forestales, plagas y enfermedades. Las plantaciones de especies introducidas, especialmente de pino y eucaliptos, presentan importantes riesgos, pero después de revisar una cantidad relevante de literatura al respecto, no está claro que éste sea mayor que el que puedan tener las posibles alternativas, por ejemplo una plantación de *Nothofagus spp.* Las plantaciones mixtas pueden tener ventajas desde el punto de vista sanitario, pero son poco prácticas desde el punto de vista productivo.

Los riesgos propios de los monocultivos pueden ser considerablemente reducidos si se elige la especie, el sitio y el manejo adecuado. No cabe duda de que los monocultivos son la forma más eficiente para producir madera y tendrán una importancia creciente en el abastecimiento de la industria forestal a nivel global.

Referencias

- Alfaro, R., A. Battisti, A. Carroll, R. Fleming, J. Hantula, D. Francis, P.E. Hennon, D. Lanfranco, A. Lilja, M. Müller, M. Ramos & A. Woods. 2010.** Forest health in a changing environment. In: G.Mery, P. Katila, G. Galloway, R.I. Alfaro, M. Kanninen, M. Lobovikov and J. Varjo, eds. Forests and society- responding to global drivers of change. Pp. 113-134. IUFRO World Series Volume 25. Vienna.
- Bain, J. 1981.** Forest monocultures. How safe are they?: an entomologist's view. New Zealand Journal of Forestry, 1981.37-42.
- Evans, J. 2009.** Planted Forests. Uses, Impacts and Sustainability. Food and Agriculture Organization of the United Nations and CABI. pp.213.
- Gadgil, P.D. and J. Bain. 1999.** Vulnerability of planted forests to biotic and abiotic disturbances. New Forests, 17:227-238.
- INFOR, 2012. Anuario Forestal 2012.** Boletín Estadístico N° 136. Santiago, Chile. Pp. 138.
- Mead, D. 2013.** Sustainable management of Pinus radiata plantations. FAO Forestry Paper 170. FAO, Rome 2013. 246 pp.
- NRC, 2014.** Natural Resources Canada. www.nrcan.gc.ca/forests/insects-diseases/13397.
- Powers, R.F. 1999.** On the sustainable productivity of planted forests. New Forests 17: 263 – 306, 1999.
- Rosoman, G. 1994.** The Plantation Effect. An Ecoforestry Review of the Environmental Effects of Exotic Monoculture Tree Plantations in Aotearoa/New Zealand. Green Peace New Zealand with support from Canterbury Branch Maruia Society.
- Wainhouse, D. 2005.** Ecological methods of forest pest management. Oxford University Press. Oxford, UK.



05

Impacto de las **PLANTACIONES** sobre la Diversidad Biológica

La diversidad biológica es considerada como un buen indicador de la sanidad, estabilidad y resiliencia de los ecosistemas. Nadie pone en duda que los bosques y otras formaciones nativas son más ricas desde el punto de vista de la diversidad biológica que las plantaciones forestales (Eckehard *et al.*, 2008; Bremer y Farley, 2010; Pawson *et al.*, 2013; Mead, 2013), pero la idea de que éstas carecen completamente de diversidad biológica y, en consecuencia, de estabilidad, resiliencia y sostenibilidad, está lejos de ser real.

El impacto de las plantaciones forestales sobre la diversidad biológica es absolutamente relativo, dependiendo de la situación previa a la plantación, de las especies plantadas, del manejo y de la vegetación vecina, entre otros factores. Si la plantación se establece sustituyendo un bosque o un matorral nativo, sin duda que la diversidad biológica se verá seriamente afectada, tanto en sus especies vegetales como animales. Por el contrario, si las plantaciones se establecen en tierras que fueron degradadas por décadas o siglos de prácticas agrícolas no sustentables, la situación es radicalmente distinta. En este caso, todos los estudios coinciden en que las plantaciones forestales generan un considerable incremento en la diversidad de especies, tanto nativas como exóticas. Con el establecimiento de una plantación en un área descubierta, si bien en un principio no hay una gran ganancia en términos de diversidad biológica, ya que por lo general se establece una sola especie, en la medida que pasan los años y especialmente si el bosque se maneja permitiendo la entrada de luz, una serie de especies, tanto animales como vegetales, comienzan a establecerse dentro del bosque.

Es bastante común oír que agrupaciones ambientalistas se refieran a las plantaciones forestales como “desiertos verdes”. Son numerosos los estudios científicos que documentan que las plantaciones forestales albergan un amplio rango de especies nativas y exóticas de plantas, animales y hongos (Brockerhoff *et al.*, 2008; Lindenmayer *et al.*, 2000; Lindenmayer *et al.*, 2003; Lindenmayer and Hobbs, 2007; Stephens and Wagner, 2007; Klomp *et al.*, 2001; Ogden *et al.*, 1997; Martínez *et al.*, 2009; Parrotta *et al.*, 1997).

El impacto de las plantaciones forestales sobre la diversidad biológica es relativo, ya que depende de la situación previa a la plantación.

Incluso especies poco comunes se presentan con mayor frecuencia en plantaciones forestales. Por ejemplo, en Europa, la mayor población de la especie *Upupa epops*, un ave seriamente amenazada, se encuentra en las plantaciones de pino de las Landas Atlánticas; el Casuario (*Casuaris casuaris*) es común en las plantaciones de Araucaria en Australia y el Kiwi café (*Apteryx mantelli*) se encuentra en las plantaciones de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda. Por lo tanto, hay abundante evidencia de que las plantaciones forestales, lejos de ser desiertos, pueden albergar una abundante biodiversidad. También es necesario destacar el hecho de que las plantaciones, al proveer una fuente alternativa de madera, permiten reducir la presión sobre los bosques nativos, y en consecuencia, sobre la diversidad biológica que éstos albergan.

Antes de entrar en un análisis más científico del efecto de las plantaciones sobre la diversidad biológica es necesario analizar el hecho de que las plantaciones reducen la presión sobre los bosques nativos. Este es uno de los conceptos más rechazados por los grupos ecologistas que se oponen a las plantaciones forestales, porque parten de la base de que todas las plantaciones se hacen sustituyendo al bosque nativo, lo cual, si bien ha sucedido y aún ocurre en muchas partes del mundo, está lejos de ser la regla general. En el caso de Chile, como se analiza en este capítulo, la sustitu-

ción alcanza aproximadamente a un 10% de la superficie plantada. No es más.

¿Qué habría sucedido en Chile sin las plantaciones forestales? Lo más probable es que sólo quedarían los bosques nativos en las áreas protegidas y gran parte de nuestra flora y fauna estaría amenazada de extinción. Afortunadamente eso no sucedió, pero aún existe un gran peligro a nivel global. Hacia el año 2050 es muy posible que la demanda de madera industrial (no se considera la leña) llegue a 6.000 millones de m³ (FAO, 2010; Indufor, 2012) lo cual significa cuadruplicar la demanda actual. Las plantaciones forestales industriales, con una producción cercana a los 500 millones de m³ por año, hoy cubren cerca de un tercio de la demanda total de madera industrial. Sin embargo, para mantener esta misma proporción (33%) probablemente no sería necesario cuadruplicar el área de plantaciones, ya que se puede esperar mayor productividad debido al uso de nuevas tecnologías y a un manejo y utilización más eficientes. Siendo optimistas, habría que, por lo menos, duplicar el área de plantaciones en los próximos 40 años para seguir aportando un tercio de la oferta de madera. ¿Y de dónde sale el 66% restante? De otros bosques plantados (Europa) y de los bosques nativos del mundo, incluyendo los tropicales que son los más biodiversos. El impacto de la futura demanda de madera sobre la diversidad biológica es difícil de dimensionar, pero sin duda

Hacia el 2050 la población mundial llegará a cerca de 9.000 millones de personas. La presión sobre los bosques nativos para habilitar tierras para la agricultura seguirá aumentando. Los bosques plantados tendrán una importancia creciente para el abastecimiento de madera para la industria (Foto archivo FAO).



que puede ser enorme. Obviamente que las plantaciones forestales no son la solución al problema de la pérdida de la cubierta forestal a nivel global, pero claramente que pueden jugar un papel fundamental en la reducción de la presión sobre los bosques nativos.

Al tema de la creciente demanda de madera hay que agregar la seguridad alimentaria. En el 2050, la población mundial alcanzará los 9.000 millones de personas. Para alimentarlas debidamente será necesario aumentar la producción de alimentos en por lo menos un 70% a nivel global y duplicarla en los países en desarrollo, lo cual constituye un enorme desafío, especialmente si se consideran los efectos del cambio climático (FAO, 2009; Nelson *et al.*, 2010). Parte de este incremento puede venir del avance tecnológico (eficiencia en el riego, en los cultivos, en la manipulación y conservación de alimentos), pero lo más probable es que en los países menos desarrollados que serán los que más aumentarán su población, este aumento en la producción de alimentos se producirá por un incremento en la superficie cultivada. Resultado: la principal causa de deforestación a nivel mundial, que es la habilitación de tierras para uso agropecuario, seguirá operando. Habrá menos superficie forestal y más demanda de madera, sin considerar la leña.

La principal causa de deforestación a nivel mundial es la habilitación de tierras para uso agropecuario.

La alternativa es producir alimentos y madera de manera más eficiente: más alimentos y más madera por unidad de superficie, lo cual se traduce, en el caso forestal, en establecer plantaciones altamente tecnificadas. Es la única manera de reducir la presión sobre los bosques nativos. Cada hectárea que no se plante pone en peligro al menos 10 hectáreas de bosque nativo.

Plantaciones y diversidad biológica

Bremer y Farley (2010) han estudiado el tema en profundidad y sus conclusiones coinciden con lo expresado anteriormente. El impacto de las plantaciones en la diversidad biológica depende esencialmente de sus características –especies, objetivo, sistemas de manejo– y del uso previo de la tierra. El resultado de pérdida o ganancia de la biodiversidad también dependerá del tipo de plantas, animales u otros seres vivos que se comparen. En general se encuentra una enorme variabilidad en los resultados, por lo que no es posible hacer generalizaciones en relación a este tema. Sin embargo, hay resultados obvios que no merecen discusión, por ejemplo, que se daña la diversidad biológica cuando se sustituye un bosque nativo o un matorral nativo para establecer una plantación. En estos casos, de acuerdo a un estudio de Bremer y Farley (2010) la pérdida promedio de diversidad biológica puede llegar hasta un 35%.

Por otra parte, los mismos autores entregan resultados bastante sorprendentes. Señalan que, en general, cuando se transforma un bosque secundario a una plantación se produce un incremento significativo en la biodiversidad. En 48 casos analizados, las plantaciones de coníferas eran significativamente más ricas en especies que los bosques secundarios que ocupaban los terrenos antes de las plantaciones, en cambio las plantaciones de latifoliadas presentaban menos especies (-30%) que los bosques secundarios con que se las comparaba. En el caso de las plantaciones con coníferas, la mayoría de las especies plantadas eran nativas, en cambio en las latifoliadas, la mitad eran exóticas, lo cual, en buena medida explica estos resultados. Por otra parte, en los casos estudiados en que se sustituyó bosque nativo, la pérdida de diversidad biológica, si bien fue mayor cuando se plantaron especies exóticas, no fue significativamente distinta a la observada en plantaciones con especies nativas. Stephens and Wagner (2007) encontraron que las plantaciones

Las plantaciones de pino pueden albergar una gran variedad de hongos, incluyendo especies comestibles (Fotos archivo CONAF).



con especies nativas presentan una diversidad semejante o ligeramente inferior en comparación al bosque natural. Murray *et al.* (2009) al comparar poblaciones de insectos y arácnidos, encontraron que las diferencias entre el bosque nativo y las plantaciones de pino radiata son estacionales y en ciertos períodos del año no existen.

En Chile, al comparar las poblaciones de coleópteros de un bosque nativo y una plantación de *Pinus radiata* no se encontraron diferencias significativas. Las plantaciones de pino presentan una población de coleópteros similar a la del bosque nativo, ya que se constata la presencia de gran parte de las especies (Grez *et al.*, 2003). Estudios recientes evidencian una creciente adaptación de diversas especies de insectos a las plantaciones forestales (Briones y Jerez, 2007).

Otros resultados indican que la variedad de especies tiende a aumentar cuando se cambia el uso del suelo desde una pradera exótica o una degradada a una plantación forestal, en cambio se genera una pérdida de biodiversidad cuando el uso original es una pradera natural con presencia de arbustos (Bremer y Farley, 2010; Pawson *et al.*, 2013).

Ya se mencionó que la o las especies forestales empleadas en la plantación pueden tener un efecto importante. La mayoría de los estudios señala que la plantación con especies nativas favorece la diversidad biológica en relación a una con especies exóticas, aun cuando se presentan importantes excepciones. Bonham *et al.* (2002) encontraron que en Australia las plantaciones de *Pinus radiata* constituían un hábitat más favorable para los invertebrados que las plantaciones de eucaliptos, que ahí son especies nativas. Otro elemento que tiene gran incidencia en la diversidad biológica presente en una plantación es su proximidad con áreas de vegetación nativa. La mayor diversidad y abundancia de animales nativos en una plantación ocurre cuando ésta limita con un bosque nativo (Lindenmayer *et al.*, 2003). Por ejemplo, en bosques de pino (*Pinus radiata*) rodeados por vegetación nativa australiana (predominio de *Eucalyptus spp.*) se registraron 22 especies de mamíferos, 184 especies de aves, 14 reptiles y 14 batracios (Klomp *et al.*, 2001). Otro estudio, también en Australia, no encontró presencia de marsupiales en bosques de pino radiata, a pesar de la existencia de bosques nativos en los alrededores, sin embargo la presencia de aves, aun cuando menor que en



El impacto de las plantaciones forestales sobre la diversidad biológica puede mitigarse considerablemente al dejar corredores de vegetación nativa (Foto archivo FAO).

Los estudios realizados en relación a las plantaciones destacan el valor de mantener áreas de vegetación nativa en medio de las plantaciones para asegurar la conservación de la biodiversidad biológica.

los bosques nativos, fue bastante abundante: un promedio de 17 especies en plantaciones de *Pinus radiata* contra 23 en un área continua de bosque nativo de eucaliptos (Lindenmayer *et al.*, 2000).

En Chile también se ha estudiado el impacto de las plantaciones en la fauna. Estades (1994) encontró que las plantaciones de pino radiata tienen un efecto negativo sobre la diversidad de especies de aves, ya que sólo el 52,4% de las aves presentes en el bosque nativo de la Región del Biobío se encontraba en las plantaciones. Castro (1991) encontró 25 especies de aves en bosques de pino en la misma región, en cambio la población de mamíferos nativos se vio reducida a cuatro especies de roedores.

Todos los estudios realizados en relación a plantaciones de *Pinus radiata* destacan el valor de mantener áreas de vegetación nativa en medio de las plantaciones para asegurar la conservación de la diversidad biológica. Está demostrado que dejar pequeños remanentes de vegetación nativa puede generar cambios sustanciales en términos de conservación de la diversidad biológica, especialmente de vertebrados. La vegetación a lo largo de los cauces es particularmente importante para la conservación de las especies nativas, incluso cuando se trata de pequeños cauces temporales. También los espacios abiertos, incluyendo cortafuegos,

tienen un impacto positivo, ya que generan heterogeneidad en el paisaje.

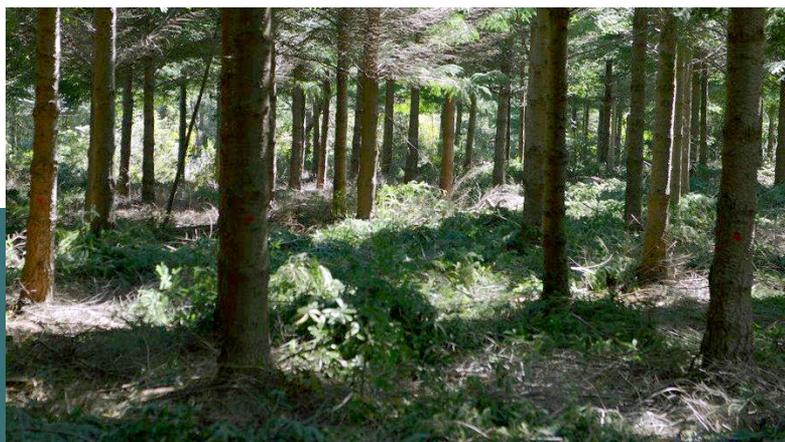
Estas áreas de vegetación nativa, al encontrarse protegidas en medio de una plantación, por lo general se enriquecen desde el punto de vista de la diversidad biológica, aumentando en número de especies. Es importante tomar las precauciones necesarias para no dañarlas durante las faenas de cosecha y replantación.

La edad de las plantaciones también afecta la biodiversidad, de manera positiva o negativa dependiendo de la vegetación original. Cuando se parte de ecosistemas ricos en diversidad biológica, ésta tiende a ir disminuyendo con la edad de la plantación, pero ocurre lo contrario cuando se parte de terrenos altamente degradados y pobres en especies. En todo caso, cuando las plantaciones se manejan en rotaciones muy cortas, por ejemplo las plantaciones de *Eucalyptus* en Brasil, es poco probable que puedan ser colonizadas por especies propias de los bosques nativos circundantes. Por el contrario, las plantaciones que se manejan en rotaciones más largas, especialmente aquellas que se manejan con objetivos de conservación, pueden llegar a incrementar considerablemente su diversidad biológica y presentar pequeñas diferencias si se les compara con bosques nativos manejados. Las diferencias se acortan aún más si se ha dejado la vegetación nativa a lo largo de los cauces. Estos corredores juegan un papel fundamental en la mantención de la diversidad biológica a nivel del paisaje (Bremer y Farley, 2010; Brockerhoff *et al.*, 2008).

En la medida que las plantaciones crecen y se manejan tendiendo a una menor densidad es frecuente encontrar especies nativas, por ejemplo, en el caso de Chile se encuentra maqui (*Aristotelia chilensis*), voqui (*Boquila trifoliata*), voqui colorado (*Cissus striata*) entre otras especies, las cuales atraen una serie de aves. Estudios realizados en Nueva Zelanda reportan presencia abundante de especies nativas en plantaciones de pino, incluyendo 37 especies de helechos. La mayor diversidad se presentó en las plantaciones de mayor edad (Ogden *et al.*, 1997). Un aspecto que es necesario mencionar es que en muchos casos las plantaciones tienden a favorecer el establecimiento de especies colonizadoras, especialmente exóticas, por ejemplo zarzamora (*Rubus sp.*) o retamilla (*Genista sp.*).

La edad de las plantaciones también afecta la biodiversidad de manera positiva o negativa dependiendo de la vegetación original.

Los bosques plantados manejados en rotaciones largas con podas y raleos, permiten la presencia de diversas especies de plantas, hongos y animales.





El cambio climático ciertamente que afectará las plantaciones forestales, ya que será necesario buscar mecanismos de adaptación a través del mejoramiento genético, nuevas variedades o especies y de nuevas técnicas de manejo silvícola. Pawson *et al.* (2013) sugieren que en el caso de las plantaciones no sólo será el cambio climático el que afectará a la diversidad biológica, sino que ésta será impactada por las variaciones en los sistemas de manejo necesarios para la adaptación.

En base a estas evidencias, cuando se analiza el impacto de las plantaciones en la diversidad biológica, es muy importante distinguir entre plantaciones que se han realizado reemplazando bosques nativos y plantaciones establecidas en áreas que ya estaban degradadas, con

el fin de no caer en comparaciones que no tienen ningún sentido. La base de comparación no puede ser un bosque nativo si la plantación se estableció en un área degradada por la agricultura.

Lamentablemente en Chile no se ha estudiado suficientemente el impacto de las plantaciones en la diversidad biológica. En cambio en Australia y Nueva Zelanda las investigaciones son abundantes y claramente demuestran el efecto de las plantaciones sobre la diversidad biológica cuando se sustituye el bosque nativo para establecerlas, cosa bastante frecuente hasta hace poco en Australia. La diversidad de animales mamíferos es fuertemente afectada, en cambio las aves y las especies invertebradas no sufren grandes impactos.

Recomendaciones para incrementar la diversidad biológica en plantaciones (Basado en Mead, 2013)

El impacto de las plantaciones forestales sobre la diversidad biológica puede ser considerablemente reducido si se toman las medidas de manejo que se recomiendan a continuación:

- Planificar las actividades con un enfoque territorial¹, de manera de asegurar el máximo de conectividad entre áreas que aún mantengan vegetación natural.
- Mantener remanentes de bosque nativo existentes en el área.
- Mantener la vegetación a lo largo de los cauces que cruzan el área de plantación.
- Enriquecer estas áreas con siembra o plantación de especies propias de esos ecosistemas.
- Limitar el uso de herbicidas aplicados de manera general para evitar daños sobre vegetación que no se quiere eliminar.
- Dejar árboles muertos, en pie o tendidos.
- Manejar la densidad de modo de permitir la entrada de suficiente luz para favorecer el desarrollo de plantas, hongos y animales.
- Mantener la mayor diversidad posible en términos de clases de edad de las plantaciones.

¹/ También se usa el término “enfoque de paisaje”.

Por otra parte, es muy importante destacar que desde el punto de vista de los valores de conservación y la diversidad biológica, las plantaciones presentan claras ventajas si se les compara con otros usos de la tierra, aparte de los bosques nativos. Está claro que las plantaciones forestales tienen un mayor valor de conservación que las praderas artificiales o cualquier otro uso agrícola intensivo.

Plantaciones y sustitución de bosque nativo en Chile

Sin duda que una de las principales críticas a las plantaciones forestales a nivel mundial se refiere a la sustitución de bosque nativo para establecerlas. Esto genera uno de los principales impactos ambientales negativos, ya que tiene un fuerte efecto sobre la diversidad biológica y el paisaje. Uno de los principios planteados por la FAO para el establecimiento de plantaciones de manera sustentable se refiere a la sustitución, determinando que: "Los planificadores y encargados de la gestión de los recursos plantados deberían incorporar la conservación de la diversidad biológica a nivel de rodal, bosque y paisaje" (FAO, 2006).

En Chile el tema de la sustitución también es importante. Las plantaciones forestales han sido una causa de destrucción del bosque nativo y en consecuencia, de la diversidad biológica contenida en ellos y han alterado el paisaje y el régimen hídrico, entre otros efectos. Por otro lado, también es necesario tener presente que, gracias a las plantaciones, se disminuyó la presión sobre los bosques nativos, permitiendo no sólo su conservación sino que su incremento en términos de superficie.

En Chile, la mayor destrucción de bosque nativo para establecer plantaciones se produce después de la promulgación del D.L. 701. En los primeros años de su aplicación se bonificaban los denominados "roce fuerte" y "roce muy fuerte", que lamentablemente fomentaron la eliminación de miles de hectáreas de bosque nativo, especialmente de renovales, en muchos casos con gran potencial para convertirse en bosques altamente productivos.

Existe una gran cantidad de estudios sobre la sustitución de bosque nativo por plantaciones en Chile, con resultados muy diversos. Cabaña (2011) señala que los datos de sustitución de bosque nativo fluctúan entre 130.000 y 230.000 hectáreas, según sean los criterios empleados para su cálculo. El Instituto Forestal estimó la sustitución entre 1960 y 1994 en 131.787 ha. (Unda y Ravera, 1994).

De acuerdo a un estudio realizado por CONAF en 1998, hasta esa fecha, 24 años después del inicio del D.L. 701, se habían establecido y bonificado 78.049 hectáreas de plantaciones en terrenos que necesitaron un "roce fuerte" y "roce muy fuerte", lo cual es una indicación de sustitución de vegetación nativa densa, que incluía bosques. Sería importante evaluar cual fue realmente la intensidad de este daño ecológico. Hay muchas cifras pero ninguna tiene detrás un estudio que cubra todo el período de mayor actividad, a partir de la promulgación del decreto ley. Además, los estudios están basados en una serie de supuestos y metodologías que varían de acuerdo a lo que se quiere demostrar. Uno de los estudios más notables sobre la deforestación en Chile fue realizado por el Banco Central en 1995, aun cuando nunca llegó a publicarse (Ver recuadro).

Más tarde, el año 2001, el Banco Central de Chile y la Corporación Nacional Forestal hicieron un estudio conjunto destinado a determinar una metodología que permitiese establecer un sistema de balances para los recursos forestales chilenos. Este estudio probablemente entrega una de las cifras más confiables en cuanto a sustitución de bosque nativo, señalando que entre 1985 y 1996 ésta alcanzó a 159.800 hectáreas.

En el marco de los procesos de certificación de manejo forestal sustentable, las principales empresas forestales del país han encargado estudios a organizaciones independientes, entre las que se cuentan la Universidad Austral; U. de Concepción y WWF, los que consideran un período que va desde 1993 ó 1994 hasta 2011 ó 2012. La recopilación de estos datos permite estimar la sustitución

de los últimos 18 a 20 años, que alcanza a casi 45 mil hectáreas y las empresas consideradas cubren cerca del 75% de las plantaciones a nivel nacional (U. Austral, 2011; U. Austral 2013; Volterra², 2013; Arauco, 2012; WWF, Chile, 2011). Lamentablemente estas investigaciones no cubren los 20 años anteriores, que fue cuando el proceso de sustitución de bosque nativo por plantaciones alcanzó su máxima expresión.

Una fuente de información muy reciente sobre la sustitución de bosque y matorral³ nativos por plantaciones la constituye el Inventario de Gases Efecto Invernadero del Sector Silvoagropecuario (LECB- Chile, 2014) que presenta el promedio de la superficie anual de sustitución en el período 1990 – 2010 (cuadro N°3). Estas cifras oficiales generadas por la Corporación Nacional Forestal, reflejan

Cuadro N°4

Sustitución de bosque y matorral nativos por plantaciones forestales (1975-2010)

| Período | Superficie sustituida (ha) | Fuente y período que cubre |
|--------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1975 - 1984 | 39.024 | CONAF (1998) 1974 - 1994 |
| 1985 - 1989 | 66.583 | BCCh- CONAF (2001) 1985 - 1996 |
| 1990 - 2010 | 157.360 | LECB- Chile (2014) 1990 - 2010 |
| Total | 262.967 | |

Cuadro N°3

Superficie de bosque y matorral nativo convertida a plantaciones forestales por región (1990 - 2010)

| Región | Superficie (ha) |
|----------------------|-----------------|
| Valparaíso | 2.650 |
| Región Metropolitana | 56 |
| O'Higgins | 4.978 |
| Maule | 6.586 |
| Biobío | 26.948 |
| Araucanía | 49.420 |
| Los Ríos | 53.498 |
| Los Lagos | 9.624 |
| Aisén | 3.600 |
| Magallanes | 0 |
| Total | 157.360 |

Fuente: Fuente: LECB- Chile, 2014.

2 / La empresa Volterra no realizó un estudio con consultores independientes.
3/ Bosque esclerófilo en diversos estados de conservación.

una sustitución de 157.300 hectáreas entre las regiones de Valparaíso y Magallanes en un período de 20 años. Respecto de ellas es importante señalar que un porcentaje corresponde a terrenos que fueron deforestados para habilitación de cultivos agrícolas y que posteriormente fueron plantados con especies forestales.

Con todas estas fuentes de información es posible hacer una estimación del total de la superficie de bosques y matorrales nativos sustituidos por plantaciones. El cuadro N°4 contiene datos de tres estudios que se consideran confiables: el realizado por CONAF en 1998; el ejecutado por el Banco Central y CONAF el 2001 y el recientemente realizado por CONAF en 2014 para el inventario de gases de efecto invernadero. El análisis de 1998 se traslapa con el de 2001 y éste con el realizado el 2014. En ambos casos, cuando hay dos cifras para el mismo año, se considera la cifra calculada más recientemente. Como resultado de este ejercicio el total de sustitución sería de 262.967 hectáreas.

El estudio de la Unidad de Cuentas Ambientales del Banco Central de Chile

En 1995, el Banco Central de Chile decidió incluir los bosques en las cuentas nacionales y ordenó un estudio para evaluar la situación de los bosques nativos y el impacto de las plantaciones forestales sobre su superficie. Sus resultados provocaron un revuelo generalizado en las organizaciones no gubernamentales preocupadas por el futuro de los bosques y por supuesto, en las organizaciones del Estado responsables de la conservación y manejo de los recursos forestales. Sin duda que había suficientes razones para preocuparse.

El informe, preparado por la Unidad de Cuentas Ambientales, aseguraba que hacia el año 2014 la superficie del bosque nativo a nivel nacional sería algo más de 4 millones de hectáreas, es decir quedarían los bosques comprendidos en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE) y unas pocas hectáreas más que estarían mayormente en las regiones australes. A nivel regional la situación era mucho más dramática, ya que las cifras nacionales se veían favorecidas por la situación en las regiones de Aisén y Magallanes. Así, en la Región del Biobío, a partir de 1997 ó 2005, según se tratase de un escenario pesimista u optimista, el bosque nativo quedaría reducido a los parques y reservas nacionales, es decir, a menos de 50.000 hectáreas. En la Región de La Araucanía a partir del 2002, los bosques nativos no llegarían a 200.000 hectáreas y en las regiones de Los Ríos y Los Lagos, el estudio pronosticaba que en el 2009 los bosques estarían reducidos a cerca de 300.000 hectáreas.

¿Quién podía poner en duda un estudio del Banco Central? Las ONG se movilizaron en masa hacia la Corporación Nacional Forestal (CONAF), para exigir la aplicación de la ley y evitar este desastre ecológico. No era posible que se estuviese permitiendo la sustitución de bosque nativo a un nivel tal que su desaparición estaba asegurada en el plazo de 20 años. Afortunadamente los datos no coincidían con la información de la oficina de Control Forestal de CONAF. De acuerdo a ellos, la sustitución, si bien todavía existía, estaba bastante controlada y ninguna proyección se acercaba, ni remotamente, a las de la Unidad de Cuentas Ambientales del Banco Central.

Después de un sinnúmero de reuniones al más alto nivel, con ministros incluidos, se probó que el estudio realizado por la Unidad de Cuentas Ambientales no era más que un burdo montaje de un grupo de ecologistas que, al amparo del Banco Central, pretendía demostrar que las actividades de forestación realizadas por las empresas forestales seguían destruyendo el bosque nativo a un ritmo tal que ponía en peligro su existencia. Los resultados estaban lejos de la realidad, ya que el estudio se basaba en fotografías aéreas obtenidas en tres líneas de vuelo sobre áreas cuidadosamente elegidas por su alto grado de sustitución, y en base a esos datos se extrapolaba una tasa de pérdida del bosque nativo a todo el país. Técnicamente el estudio no resistía análisis, lo que fue demostrado por la Corporación Nacional



Forestal. El Banco Central despidió al encargado de la investigación y el sector forestal se quedó fuera de las cuentas ambientales nacionales por algún tiempo más.

Casi a 20 años de este episodio la cubierta forestal del país sigue creciendo y la sustitución, aun cuando sigue siendo un problema, es de menor magnitud. La superficie de bosque nativo alcanza a 13.599.610 hectáreas (CONAF, 2013).

Consideraciones finales

En la discusión de este tema es fundamental enfatizar algunos aspectos. Lo primero es que no existe ninguna duda que la biodiversidad de los bosques nativos es mucho mayor que la presente en una plantación, por lo que la sustitución de bosques nativos por plantaciones representa un serio daño ambiental en el sentido más amplio. Por otra parte, está igualmente claro que una plantación establecida en áreas deforestadas y particularmente en suelos degradados genera una importante ganancia en términos de diversidad biológica. Las plantaciones, lejos de ser desiertos verdes, pueden albergar una importante diversidad, especialmente si se planifican teniendo en cuenta elementos que permitan una mayor conectividad entre la vegetación nativa adyacente y diversidad en el paisaje.

Las plantaciones forestales en Chile han afectado la diversidad biológica, ya que aproximadamente unas 270.000 hectáreas de las 2,6 millones de plantaciones que existen en el país fueron establecidas en terrenos con bosque o matorral nativo, afectando algunos tipos forestales realmente escasos, como los bosques de *Nothofagus* en la costa de la Región del Maule.

Por último es necesario destacar que el mayor impacto de las plantaciones sobre la diversidad biológica se logra al disminuir la presión sobre los bosques nativos. Se estima que hacia el año 2050 la demanda global de madera puede alcanzar a cerca de 6.000 millones de m³. Las plantaciones forestales juegan un rol fundamental en el abastecimiento

de esta madera (FAO, 2009). Si los países no se preocupan del establecimiento de nuevas plantaciones toda la presión de la demanda recaerá sobre los bosques nativos con un enorme daño a la diversidad biológica.



Las plantaciones forestales contribuyen a enriquecer la diversidad biológica en zonas degradadas (Foto archivo CONAF).

Referencias

- Arauco, 2013.** Informe consolidado de sustitución de bosque nativo y matorral esclerófilo en el patrimonio de Arauco. Gerencia Desarrollo, Forestal Arauco documento técnico Versión: 1 Fecha: 08 / 2012 pp: 22.
- BCCh-CONAF, 2001.** Cuentas Ambientales: Metodología de Medición de Recursos Forestales en Unidades Físicas. 1985 – 1996. Banco Central de Chile; Corporación Nacional Forestal. Febrero 2001. pp:78.
- Bonham, K.J., R. Mesibov and R. Bashford. 2002.** Diversity and abundance of some ground – dwelling invertebrates in plantation vs. native forest in Tasmania, Australia. *Forest Ecology and Management* 156, 237-247.
- Bremer, L. y K. Farley. 2010.** Does plantation forestry restore biodiversity or create a green desert? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodivers. Conserv.* (2010) 19:3893-3915.
- Briones, R. y V. Jerez. 2007.** Efecto de la edad de la plantación de *Pinus radiata* en la abundancia de *Ceroglossus chilensis* (Coleoptera: Carabidae) en la Región del Biobío, Chile. *Bosque* 28 (3): 207-214.
- Brockhoff, E.G.; H. Jactel; J.A. Parrotta; C.P. Quine; J. Sayer. 2008.** Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? *Biodivers. Conserv.* (2008) 17: 925-951.
- Cabañas, C. 2011.** Reseña histórica de la aplicación del DL 701 de 1974, sobre Fomento Forestal. Departamento de Plantaciones Forestales. Gerencia Forestal. Corporación Nacional Forestal. Noviembre 2011. pp: 110.
- Castro, V.R. 1991.** Fauna asociada a bosques de *Pinus radiata* D.Don y *Eucalyptus globulus* Labill. en los predios de Bosques Arauco. *Boletín Informativo de CORMA* N° 220. Mayo- junio 1991, pp. 21 - 26.
- CONAF, 1998.** Funciones de biomasa para bosques adultos de *Pinus radiata*. En: *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Eds. B. Olivares y E. Morales. 24 a 26 octubre 1985. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. 325-329.
- CONAF, 2013.** CONAF, por un Chile forestal sustentable. Corporación Nacional Forestal, Santiago, Chile, agosto de 2013. pp: 83.
- Prado, J.A., S. Barros, J. Wrann, P. Rojas, D. Barros, S. Aguirre. 1986.** Especies exóticas de interés económico para Chile. Instituto Forestal; Corporación de Fomento de la Producción. Gerencia de Desarrollo AF86/32, Santiago, mayo de 1986.
- Dyck, W.J., 1997.** Biodiversity in New Zealand Plantation Forestry – an Industry Perspective. *N.Z. Forestry.* November 1997: 6-8.
- Estades, C.F. 1994.** Impacto de la sustitución del bosque natural por plantaciones de *Pinus radiata* sobre una comunidad de aves en la octava región de Chile. *Boletín Chileno de Ornitología* 1: 8-14.
- Evans, J. 2009.** The Multiple Roles of Planted Forests. In: *Planted Forests. Uses, Impacts & Sustainability.* Ed. by J. Evans. FAO and CABI. 213 pp.
- FAO, 2006.** Ordenación responsable de los bosques plantados: Directrices voluntarias. Documento de Trabajo sobre los bosques y árboles plantados No. 37/S. Roma (también disponible en el sitio Web www.fao.org/forestry/site/10368/en).
- FAO, 2009.** Feeding the World in 2050. [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/018/k6021e.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/018/k6021e.pdf).
- FAO, 2010.** Global Forest Resources Assessment 2010. Main Report. FAO Forestry Paper 163. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2010.
- Grez, A., P. Moreno y M. Elgueta. 2003.** Coleópteros (Insecta: Coleoptera) epigeos asociados al bosque maulino y plantaciones de pino aledañas. *Rev. Chilena Ent.* 2003, 29: 9 -18.
- Klomp, N., C. Grabham and M. Herring. 2001.** Fauna study of Ettamogah Forest 1994-2000. Charles Sturt University. Johnstone Centre. Report N° 154. Albury, August 2001.
- LECB-Chile, 2014.** Inventario de Gases Efecto Invernadero, Sector AFOLU (ISGEI-AFOLU). Subsectores “3A. Ganadería”, “3B. Tierras” y “3C. Fuentes agregadas y fuentes de emisión de gases no-CO₂ de la Tierra”. Serie temporal 1990/2010. Low Emission Capacity Building Programme – Chile. (Trabajo realizado por el Ministerio de Agricultura de Chile con el apoyo de LECB- Chile). Documento en proceso de publicación.
- Lindenmayer, D. 2000.** Islands of bush in a sea of pines: A summary of studies from the Tumut Fragmentation Experiment (August 2000). National Research and Development

Program on Rehabilitation, Management and Conservation of remnant vegetation. Research Report 6/2000.

Lindenmayer, D.B.; R.B. Cunningham, M.L. Pope and C.F. Donnelly. 2000. The response of arboreal marsupial to context: a large scale fragmentation study. *Tasforest* Vol. 12, pp. 162-163.

Lindenmayer, D.B.; R. Hobbs and D. Salt. 2003. Plantation forests and biodiversity conservation. *Australian Forestry*, Vol. 66, N° 1 pp. 62-66.

Lindenmayer, D.B. ; R.B. Cunningham, C.F. Donnelly, H.A. Nix and B.D. Lindenmayer. 2002. Effect of forest fragmentation on bird assemblages in a novel landscape context. *Ecological Monographs*, 72 (1) 2002, pp.1-18.

Lindenmayer, D.B. and R. Hobbs. 2007. Fauna conservation in Australian plantation forests – a review. A report for the RIRDC/L&WA/FWPRDC Joint Venture Agroforestry Program. Publication N° 05/128, Project N° UMU-31A.

Martinez, A.; J.C. Iturrondobetia and A. Goldarazena. 2009. Effects of some ecological variables on carabid communities in native and non-native forests in the Ibaizabal basin (Basque Country: Spain) *Ann. For. Sci.* 66 (2009) 304.

Mead, D. 2013. Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. *FAO Forestry Paper* 170. FAO, Rome 2013. 246pp.

Murray B.R.; A. Baker and T. Robson. (2009). Impacts of the replacement of native woodlands with exotic pine plantations on the leaf-litter invertebrate assemblages: a test of a novel framework. *International Journal of Ecology*. Volume 2009 (2009) Article ID 490395.

Nelson, C., M. W. Rosegrant, A. Palazzo, I. Gray, C. Ingersoll, R. Robertson, S. Tokgoz, T. Zhu, T. B. Sulser, C. Ringler, S. Msangi and L. You. 2010. Food Security, Farming and Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options. *International Food Policy Research Institute (IFPRI)*.

Ogden, J., J. Braggins, K. Stretton and S. Anderson. 1997. Plant species richness under *Pinus radiata* stands on the central north island volcanic plateau, New Zealand. *New Zealand Journal of Ecology* (1997) 21(1): 17 -29.

Pawson, S.M.; A. Brin; E. Brockerhoff; D. Lamb; T. Payn; A. Paquette; J. Parrotta. 2013. Plantation forests, climate

change and biodiversity. *Biodivers. Conserv.* Published on line: 13 March, 2013.

Stephens, S.S. and M.R. Wagner, 2007. Forest Plantations and Biodiversity: a Fresh Perspective. *Journal of Forestry*, Sept. 2007; 105, 6.Pp.307-313.

Volterra, 2013. Informe estudio sustitución de bosque nativo en el patrimonio de Volterra S.A. Departamento de Cartografía. Volterra S.A. Marzo de 2013.

Unda, A. y F. Ravera 1994. Análisis histórico de sitios de establecimiento de plantaciones forestales en Chile. *Instituto Forestal*, Santiago, Chile.

United Nations Development Programme (UNDP) 2012. Stora Enso Guangxi Forest and Industrial Project. Summary Integrated Environmental and Social Impact Analysis. Final Report. 27 April 2012.

Universidad Austral de Chile, 2011. Informe. Detección de pérdida y/o sustitución del bosque nativo para la Región de Los Ríos entre los años 2006 y 2010 producto de las actividades de la empresa MASISA S.A. *Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales. Laboratorio de Geomática. Instituto de Manejo Forestal. Valdivia, septiembre 2011.*

Universidad Austral de Chile, 2013. Superficie de bosque natural sustituida por plantaciones industriales, post año 1994 a 2012, en el patrimonio ubicado en las regiones VIII y IX, empresa Bosques Cautín S.A. *Resumen Ejecutivo. Laboratorio de Geomática. Universidad Austral de Chile. Mayo de 2013.*

Universidad de Concepción. 2013. Superficie de bosque nativo sustituido por plantaciones forestales, post año 1994 a 2012, en el patrimonio ubicado en las regiones del Biobío y de la Araucanía de la empresa Forestal Tierra Chilena Ltda. *Facultad de Ciencias Forestales.*

WWF, Chile 2011. Estimación del área de sustitución en el Patrimonio de Forestal Mininco S.A., entre las regiones del Maule y Los Ríos. *Carlos Vergara. Encargado de Certificación Forestal. Programa Bosques.*



06

Las Plantaciones Forestales y

SU EFECTO

sobre la Cantidad y Calidad del Agua

Históricamente se relacionó la existencia de bosques con una mayor ocurrencia de lluvias y un incremento en los cauces de vertientes y ríos. Los resultados de múltiples investigaciones realizadas en las últimas décadas revelan una escasa relación entre los bosques y la ocurrencia de precipitaciones, al menos en climas templados, y un efecto negativo de los árboles sobre la cantidad de agua en los cauces en zonas áridas y semiáridas (Jacobson, 2003). Por otra parte, no se pone en duda la efectividad de la forestación para contrarrestar una serie de problemas generados por el agua como las inundaciones, las avalanchas, la erosión del suelo o el entarquinamiento de los embalses. Asimismo, algunos gobiernos y organizaciones no gubernamentales promueven la plantación de árboles para recuperar el agua en los períodos secos y recargar los acuíferos (Kaimowitz, 2005). Estas dos caras de la moneda generan un amplio rango de percepciones en cuanto al impacto de las plantaciones en relación al agua y su ciclo.

En Chile existe insuficiente investigación al respecto, pero en otros países donde también las plantaciones son importantes como alternativa de uso de la tierra, por ejemplo en Australia y Sudáfrica, el tema se ha estudiado desde hace décadas. Gran parte de la información recogida en este capítulo proviene de investigaciones realizadas en estos países.

La forestación tiene un positivo efecto en contrarrestar problemas generados por el agua como inundaciones, avalanchas y erosión del suelo.

La relación entre los bosques y el agua ha sido estudiada desde hace varios siglos. Uno de los primeros estudiosos del tema fue Plinio el Viejo, en el siglo I D.C., quien observó un aumento en las vertientes de agua después de la corta de bosques y analizó las consecuencias que puede tener la deforestación en las partes altas debido a la generación de devastadores torrentes (McGuire and Likens, 2011). En Francia, el rey Felipe Augusto, en 1219 promulga un decreto que establece la estrecha relación que existe entre aguas y bosques. Andréassian (2004) hace referencia a un estudio realizado en Francia por Rougier de la Bergerie en 1800, que da cuenta de la destrucción de los bosques y sus secuelas, por una parte las catastróficas inundaciones y por

Efecto de las plantaciones sobre la disponibilidad de agua

La relación entre bosque y agua ciertamente que no es simple, ya que varía dependiendo de diversos factores. La topografía, el tipo de suelo, el clima, el tipo y estado de la vegetación, las especies y el manejo son elementos que van a afectar esta relación.

En Chile existen más de 2,6 millones de hectáreas de plantaciones forestales que han venido a reemplazar otros usos de la tierra, especialmente el agrícola en terrenos que por su aptitud, nunca debieron ser empleados en la agricultura. Cerca del 90% de las plantaciones han sido establecidas en terrenos degradados, praderas o matorrales. Este cambio en la vegetación sin duda que ha tenido un efecto en la disponibilidad de agua, con un impacto variable dependiendo de las condiciones de cada sitio.

La mayoría de los estudios realizados en el mundo para determinar el impacto de las plantaciones sobre el agua concluye que los bosques usan más agua y en consecuencia producen menos escorrentía y menores caudales a través de los cursos de agua que las áreas cubiertas con vegetación menor, tales como cultivos agrícolas, praderas o vegetación arbustiva baja (Smith, 1987; Heal *et al.*, 2004; Prosser y Polglase, 2006; Scott and Smith, 1997; Little *et al.*, 2009; Fahey y Jackson, 1997, Winkler *et al.*, 2010, Zhang *et al.*, 2012).

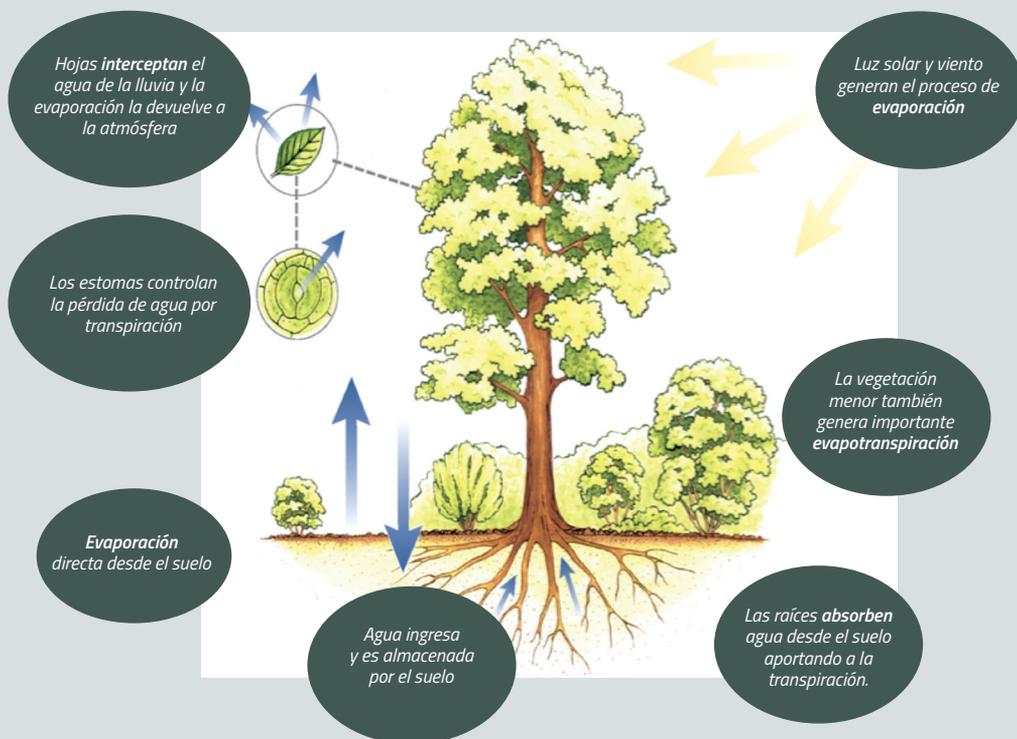
Son escasos los estudios que demuestran que el efecto de las plantaciones puede ser contrario, es decir, aumentar los flujos de agua de una cuenca. Bruijnzeel (2004) señala que esto es posible cuando se trata de forestación en suelos altamente degradados, que debido a la pérdida de su estructura también han perdido su capacidad de almacenar y conducir agua. En estos casos, las plantaciones podrían generar un cambio positivo, ya que aumentaría la capacidad del suelo para almacenar agua, prolongando su liberación incluso durante el período seco.

otra, la desaparición de vertientes y del agua en las norias. A raíz de este estudio, el impacto de los bosques sobre el agua, el suelo e incluso sobre el clima fue largamente debatido en los años siguientes, destacándose las obras de Rauch (1801, 1818, 1821, 1825); Boussingault (1837), Surell (1841), Belgrand (1853) y Champion (1858), entre muchos otros. Las ondas de frío y sequías que azotaron a Europa en esos años fueron atribuidas, por algunos, a la deforestación. Otros, en cambio, concluyeron que no había pruebas suficientes para demostrar este efecto. Producto de este debate, para prevenir inundaciones y asegurar agua en los cauces, Francia aprobó en 1860 su primera ley sobre reforestación en las montañas.

Según Andréassian (2004), Belgrand en 1853 y luego Jaendel en 1862, fueron los primeros en establecer mediciones en terreno para evaluar el impacto hidrológico de los bosques, pero estos estudios estaban basados en cuencas con diferentes tipos de bosques, por lo que no fueron capaces de llegar a un resultado convincente en cuanto a la relación de éstos con el agua. Sólo en 1910, Bates y Henry establecen en Colorado, Estados Unidos, el primer estudio en cuencas pareadas y logran demostrar las diferencias entre una cuenca forestada y otra con pradera. Demuestran que la cuenca con vegetación herbácea produce más agua que la cuenca forestada.

Andréassian (2004) analizó 137 experimentos de cuencas pareadas. Aun cuando en general concluye que la forestación disminuye el flujo de agua anual, señala que la respuesta hidrológica a la forestación es altamente variable y en la mayoría de los casos, impredecible.

Términos clave para entender los procesos relacionados al uso del agua por los bosques



ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL CICLO DEL AGUA EN EL BOSQUE

(Adaptado de Nisbet, 2005)

Evaporación: Proceso por el cual el agua cambia de estado líquido a vapor. La tasa de evaporación dependerá de la radiación solar, la temperatura, la humedad relativa del aire y la velocidad del viento.

Transpiración: Es el proceso a través del cual los árboles evaporan el agua contenida en sus tejidos a través de los estomas que son poros existentes en las hojas.

Evapotranspiración: Es el conjunto de procesos por los cuales el ecosistema pierde agua hacia la atmósfera, incluyendo las pérdidas por intercepción, evaporación desde el suelo y transpiración. Se mide en mm por unidad de tiempo.

Intercepción: Es el proceso por el cual las precipitaciones (lluvia, nieve, niebla) son interceptadas por las hojas, las ramas y el tronco de los árboles y arbustos, impidiéndole llegar al suelo, por lo que el agua vuelve a la atmósfera por evaporación.

Factores que inciden en el balance hídrico de los bosques

Hay tres factores básicos que inciden en el mayor consumo de agua por parte de los bosques: la intercepción, la profundidad de las raíces y la modificación del microclima. Las copas de los árboles interceptan mucho más lluvias que las praderas o cultivos agrícolas, devolviendo a la atmósfera gran cantidad de agua que potencialmente podría contribuir a la recarga de las napas o a la escorrentía o ser utilizada por la vegetación. El agua interceptada por las copas de los árboles regresa a la atmósfera producto de la evapotranspiración.

La intercepción no necesariamente está ligada a otros factores que inciden en el balance hídrico, como la evaporación y la transpiración, pero sin duda que es un factor importante al analizar el impacto de un bosque sobre el balance hídrico de una cuenca.

Diferencias en la estructura de las copas afectan la intercepción de las precipitaciones por parte de los árboles y, en consecuencia, influyen en el balance hídrico. Las coníferas en general interceptan más que las latifoliadas y pueden llegar a reducir la precipitación que llega al suelo entre un 20 y un 45% (Calder y Newson, 1979), lo cual puede significar una reducción de 15 a 20% de los recursos hídricos en una cuenca en términos de escorrentía y recarga de las napas (Calder *et al.*, 2002). En algunas plantaciones de coníferas (por ejemplo *Picea sitchensis*) la intercepción puede llegar hasta más de un 50 % de las precipitaciones, cuando se consideran las precipitaciones causadas por la niebla (Heal *et al.*, 2004).

Las plantaciones de *Pinus radiata* en Chile interceptan entre un 14 y un 42% de la precipitación anual. Este rango se explica porque la intercepción disminuye en la medida que aumenta la precipitación. Cuando la precipitación anual es menor a 1200 mm las copas interceptan entre un 36 y 40% del agua, en cambio en áreas con más de 2000 mm la intercepción alcanza a valores cercanos al 15% (Huber e Iroumé, 2001). La intercepción también varía considerablemente con la intensidad de la lluvia. La lluvia gruesa, típica de las tormentas tropicales, pasa más fácilmente a través del follaje que la lluvia fina. Vallejos *et al.* (2010) no encontraron diferencias significativas en la intercepción

Las plantaciones de pino interceptan entre un 14 y un 42% de la precipitación anual. Este rango se debe a que la intercepción disminuye en la medida que aumenta la precipitación.

en bosques de *Pinus radiata* (20 a 45%) y bosque nativo de especies de *Nothofagus spp.* (35 a 41%), en cambio Huber *et al.* (2010) registraron, a igual rango de precipitación, valores de intercepción muy superiores en el bosque nativo siempreverde en relación a plantaciones de pino radiata y eucaliptos.

Las hojas colgantes y ligeramente enceradas de los eucaliptos reducen el monto de lluvia interceptada en las copas. Existe abundante información sobre el tema, y los montos de intercepción de diversas especies de *Eucalyptus*, aun cuando varían considerablemente, por lo general se encuentran en el rango de 10 a 20% (Shi, *et al.*, 2012). Huber *et al.* (2010) en un bosque adulto de *Eucalyptus globulus* registraron valores de 10 y 11%.

En general se puede decir que las coníferas interceptan un 10% más que las latifoliadas (Gras *et al.*, 1993; van Dijk y Kaenan, 2007), aun cuando algunos autores sugieren que el pino radiata puede interceptar casi el doble que los eucaliptos (Zhang *et al.*, 2007; Shi *et al.*, 2012).

El segundo factor que incide en el balance hídrico es la masa radicular. Los cultivos anuales y los pastos en general tienen un sistema radicular poco profundo, lo cual les restringe la cantidad de agua que pueden obtener desde el suelo. Los árboles, en cambio, pueden tener raíces muy profundas, lo que les permite captar un volumen de agua muy superior desde el suelo y en algunos casos llegar al



Un territorio que combine praderas, bosque nativo y plantaciones es el más adecuado desde el punto de vista de la producción de agua, ya que asegura cantidad y calidad, además de evitar caudales que puedan causar daños.

nivel freático. En ellos, las plantaciones son capaces de mantener altas tasas de transpiración, superando lo que ingresa al sistema por precipitación. Esta situación, si se prolonga en el tiempo, puede comprometer la sustentabilidad de la plantación en el largo plazo (Calder, 1997).

El uso del agua por las plantas está claramente influenciado por una serie de factores climáticos, como son la precipitación, la temperatura, los vientos, la humedad relativa y la energía disponible para la evaporación. La vegetación por lo general no tiene incidencia en la precipitación¹, pero sí sobre la evaporación y la transpiración. La evapotranspiración de una plantación es mayor que la de una pradera o cultivo anual, dado un mismo monto de precipitación. A mayor precipitación se incrementa esta diferencia (Zhang *et al.*, 2007).

Debido a estos tres factores –intercepción, sistema radicular profundo y efectos en el microclima– las plantaciones consumen más agua y en consecuencia generan un menor rendimiento de ésta en los cauces. Sin embargo la ecuación es bastante más compleja, ya que hay otra serie de factores que también entran en juego. Las variaciones en la escorrentía y el rendimiento de agua de una cuenca dependen del tipo de suelo, la topografía, la ubicación de la plantación en el paisaje, la estructura de las copas, la precipitación media anual, la estaciona-

lidad de las precipitaciones y el tipo de precipitación. El comportamiento del agua en una cuenca que recibe la precipitación en forma de nieve es muy diferente, y puede que la regla general –menor rendimiento de agua en cuencas con bosques– no se cumpla (Zhang *et al.*, 2007).

Efecto de las plantaciones en el rendimiento de agua de una cuenca

El efecto de una plantación en el caudal generado por una cuenca sólo es perceptible cuando parte importante de la cuenca está plantada. Es difícil establecer cuál debe ser la cobertura de plantaciones en una cuenca para generar un efecto medible, debido a las variaciones que presentan las cuencas en cuanto a suelo, topografía, precipitación y tipo de vegetación. Según Zhang *et al.* (2003) en cuencas pequeñas (<1000 ha) este límite estaría entre un 15 y 20% del área de la cuenca. Brown *et al.* (2005) y Davie and Fahey (2005) coinciden en que una plantación que ocupe menos de un 20% de la superficie de una cuenca causa variaciones menores, que no pueden ser detectadas en la medición de caudales. En grandes cuencas este porcentaje es aún más difícil de estimar, debido a las múltiples variaciones en vegetación, topografía y clima. En una gran cuenca puede haber considerables variaciones de precipitación, lo que hace difícil estimar el efecto de la vegetación en el volumen de agua producido.

^{1/} A menos que se trate de enormes masas forestales, por ejemplo los bosques amazónicos.

Efecto de las plantaciones en el rendimiento de agua en Sudáfrica



Bosques de eucalipto en Sudáfrica. El reemplazo de la vegetación natural (en primer plano) por bosques plantados con alta densidad genera una considerable disminución en el rendimiento de agua de la cuenca. El país estableció pagos por el uso del agua en plantaciones.

En Sudáfrica la mayoría de las plantaciones fueron establecidas sobre praderas naturales causando una disminución en el caudal disponible para otras actividades. Por esta razón, Sudáfrica fue el primer país que impuso pagos por el uso del agua en plantaciones, ya que se le considera como una actividad reductora de los cauces, y en consecuencia debe pagar por el agua empleada. La misma medida se estudia para la agricultura (Jacobson, 2003). Un estudio realizado por Scott (1998) estimó que las 1,5 millones de hectáreas de plantaciones establecidas en Sudáfrica reducían la escorrentía en cerca de 3%, lo que significaba una disminución de 1.400 millones de m³ por año. Otro estudio citado por Jacobson (2003) estima esta cifra en sólo 400 millones de m³ por año. En todo caso, la industria forestal sudafricana reconoce que usa más agua que la vegetación original y ha tomado las medidas necesarias para reducir el consumo.

El uso de agua por la industria forestal, por otra parte, tiene aspectos favorables. Hassan *et al.* (2002) estudiaron el beneficio económico de emplear el agua en plantaciones de pino, y llegaron a la conclusión de que en Sudáfrica esta industria genera 16 veces más valor agregado y empleo que otros usos de la tierra.

Consumo de agua por las plantaciones en comparación con otros usos de la tierra

Hay suficiente evidencia científica para asegurar que las áreas cubiertas con vegetación herbácea –praderas o cultivos agrícolas– producen mayor cantidad de agua que las cubiertas con bosques (Smith, 1987).

A mayor precipitación, mayor es la diferencia de escorrentía entre una pradera y un bosque. Keenan *et al.* (2004) indican que la reducción en el rendimiento de agua de una cuenca forestada en relación a una con praderas es del orden de 80 mm cuando la precipitación anual es cercana a los 500 mm; alcanzaría a unos 200 mm cuando la precipitación es de 1000 mm anuales y unos 300 mm cuando la precipitación alcanza a 1500 mm anuales (Gráfico N° 7). Como regla general se puede decir que en áreas donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial (ETP) los flujos máximos y mínimos disminuyen

Las áreas cubiertas con praderas o cultivos agrícolas producen mayor cantidad de agua que las cubiertas con bosques.

de manera uniforme al cambiar el uso del suelo desde una pradera a una plantación, sin grandes impactos; en cambio en áreas en donde la precipitación es menor a la ETP, los flujos máximos son poco afectados, pero los mínimos (período seco) se reducen considerablemente.

Bruijnzeel (2004) entrega información sobre plantaciones con distintas especies en Sudáfrica, incluyendo *Pinus radiata*. La máxima reducción en el rendimiento de agua de las cuencas plantadas con esta especie varía entre 200 y 300 mm en relación a la vegetación natural (matorral bajo) y se produce aproximadamente a los 10 ó 12 años y luego se estabiliza. También señala que esta diferencia no siempre debe considerarse como una pérdida, ya que en muchos casos existe un considerable aumento de la infiltración. Parte del agua que no escurre por los cauces queda almacenada en el suelo o en las napas y puede ser liberada o empleada por los árboles posteriormente.

Gráfico N° 7

Rendimiento de agua en cuencas pareadas cubiertas de bosques y praderas, respectivamente

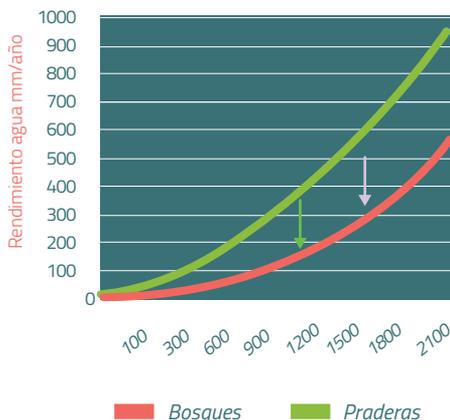


Gráfico adaptado de Keenan *et al.* (2004).

Factores que inciden en el consumo de agua por los bosques

La cantidad de agua que consumen los bosques depende de una serie de factores, algunos de los cuales pueden

Eficiencia en el uso del agua de plantaciones de pino radiata en relación a otros cultivos

La eficiencia en el uso del agua se refiere a la capacidad de un ecosistema para generar biomasa por unidad de agua evapotranspirada. En el caso de las plantaciones es la cantidad de agua evapotranspirada necesaria para producir un m³ de madera.

Para darse una mejor idea del uso de agua por las plantaciones se puede examinar el uso del agua por una serie de cultivos agrícolas o especies frutales. Cultivos tales como el arroz (*Oryza sativa*) o la alfalfa (*Medicago sativa*) tienen una alta demanda de agua. Por ejemplo, se requiere entre 2500 y 5000 L de agua para producir un kilo de arroz, considerando pérdidas por evapotranspiración, percolación y filtraciones. En el caso de las especies forestales más abundantes en Chile (*Pinus radiata*; *Eucalyptus globulus* y *E. nitens*) éstas podrían producir entre 1 y 5 m³ de madera por cada ML (10⁶ L) de agua, lo que da un rango de 400 a 2000 litros por kilo, aproximadamente² (Dvorak, 2012). El consumo de agua de una serie de cultivos se presenta en el cuadro N°5.

Cuadro N°5

| Especie | Agua usada por biomasa total (lts/kg) |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Algodón/Café/Plátano | 3.200 |
| Girasol | 2.400 |
| Plantación de legumbre | 2.000 |
| Arroz | 2.000 |
| Poroto (Frejol) | 1.714 |
| Soja | 1.430 |
| Papa | 1.000 |
| Sorgo | 1.000 |
| Eucalyptus | 785 |
| Pino radiata ³ | 480-992 |

Fuente: Dvorak, 2012.

De acuerdo a esta información, los eucaliptos son más eficientes en el uso del agua que numerosos cultivos cuando se trata de producir biomasa. En la medida que el uso del agua en la agricultura se haga más eficiente, esta brecha puede disminuir, ya que la mayoría de las cifras considera toda el agua empleada en la producción del respectivo cultivo, gran parte de la cual se pierde. En todo caso, dadas las condiciones presentes, esas son las cantidades de agua necesarias para producir un kilo de frutos, semillas u otros componentes de estos cultivos.

2/ Asumiendo 500 kg por m³.

3/ Dato estimado en base a Huber y Treccaman, 2004.

ser controlados si se quiere manejar su efecto sobre la disponibilidad de agua en una cuenca. Hay factores fijos, como las condiciones climáticas, la capacidad de retención de agua en el suelo o la profundidad del nivel freático y otros que son manejables, como la especie plantada, la estructura y densidad de la cubierta forestal, la ubicación de la plantación en el paisaje y las intervenciones de manejo.

Como ya se mencionó, es un hecho que las plantaciones, en general, consumen más agua que otro tipo de cultivos⁴ y también, dada su mayor tasa de crecimiento, deberían consumir más agua que los bosques nativos, sin embargo existe una serie de estudios que señalan que los bosques nativos consumen más o menos la misma cantidad de agua que una plantación (Webb *et al.*, 2007) e incluso más, como se discutirá más adelante.

Existe una fuerte correlación entre el área foliar, crecimiento y transpiración, por lo tanto es lógico suponer que un bosque denso de especies de rápido crecimiento consumirá más agua que un bosque con especies de lento crecimiento. La mayoría de las especies plantadas con fines industriales presenta un crecimiento inicial acelerado, llegando a su máximo a relativamente poca edad. El consumo de agua sigue un patrón semejante, ya que aumenta en los años de máximo crecimiento, para luego disminuir paulatinamente en la medida que los árboles envejecen y declina su crecimiento (Vertessy *et al.*, 1995; Watson *et al.*, 1999; Vertessy *et al.*, 2001; Jacobson, 2003; Almeida *et al.*, 2007; Van Dijk and Kaenan, 2007; Shi *et al.*, 2012). Obviamente, el consumo de agua por parte del bosque tiene un efecto directo sobre el rendimiento de agua de la cuenca.

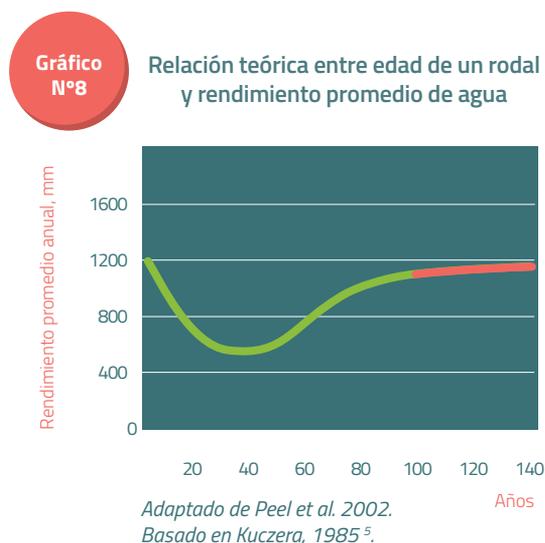
El gráfico N°8 muestra una relación teórica entre la edad de un rodal y el rendimiento promedio anual de agua en una cuenca. Los datos corresponden a un bosque de *Eucalyptus regnans* en Australia en proceso de regeneración después de un incendio (Peel *et al.*, 2002, basado en Kuczera, 1985). La curva indica que en los primeros años del bosque recientemente regenerado se produce una disminución en el rendimiento de agua en la cuenca, que alcanza a su máximo aproximadamente a los 20-25 años, para luego comenzar a recuperarse hasta alcanzar el rendimiento que existía en la situación original. Esto confirma que los bosques nativos, y también se aplica a los plantados, en

su etapa de mayor crecimiento presentan un mayor consumo de agua, lo que se refleja en un menor rendimiento de agua en la cuenca.

En plantaciones de rotaciones cortas, por ejemplo de *Eucalyptus*, no alcanzaría a producirse una recuperación del flujo por incremento en la edad y sólo se recuperaría temporalmente al momento de la cosecha.

Consumo de agua en plantaciones y bosques nativos

Siempre ha existido un importante debate por el efecto que puede generar la sustitución de bosque nativo por plantaciones, tanto desde el punto de vista de la diversidad biológica como de la producción de agua. El efecto de la sustitución sobre la diversidad biológica es claro. Hay una pérdida efectiva de biodiversidad producto de la eliminación del bosque nativo. En el caso del agua, el impacto de



^{4/} La tabla anterior se refiere a eficiencia por cada kilo de biomasa producido, pero no al consumo general.
^{5/} El rendimiento promedio anual (flujo) se expresa como altura promedio (mm) sobre el área de la cuenca.

la sustitución no es tan claro, ya que hay varios factores que entran en juego.

Bren y Hopmans (2007) analizan el efecto de la sustitución de un bosque nativo por una plantación de *Pinus radiata*. Producto del cambio de vegetación, el rendimiento de agua de la cuenca aumentó considerablemente durante los primeros años. A medida que la plantación envejeció el rendimiento de agua fue disminuyendo paulatinamente hasta llegar, cerca de los 25 años, prácticamente al mismo rendimiento de la cuenca en su estado original. Por lo tanto, de acuerdo a estos datos, si el bosque de pino se cosecha antes de los 25 años, tendría un balance positivo en términos de rendimiento de agua con relación al bosque nativo original. La plantación produce más agua. Esto parece bastante contradictorio en relación a los datos entregados precedentemente, que señalaban que los bosques jóvenes, creciendo a altas tasas, tienen un gran consumo de agua. ¿Cómo entonces podría expli-

carse la situación descrita por estos investigadores? Se explica por la presencia del sotobosque, normalmente abundante en los bosques nativos, que no sólo aumenta considerablemente la interceptación, sino que también genera un consumo de agua equivalente al de los árboles del dosel superior. En el caso descrito por Bren y Hopmans (2007) se trata de un bosque con distintas especies de *Eucalyptus*, *Acacia* y otras en el sotobosque, lo cual genera un gran consumo de agua debido a los distintos estratos de vegetación. Esto lo confirman Wood *et al.* (2008).

Otero *et al.* (1994) trabajando con plantaciones de *Pinus radiata* y bosque nativo en la Provincia de Valdivia⁶, Chile, llegan a conclusiones semejantes. Las plantaciones de pino producen más agua que el bosque nativo cuando se mide el total del agua producida durante el año. Calder *et al.* (1986) trabajando con plantaciones de eucalipto en la India, son enfáticos al concluir que las plantaciones consumen menos agua que el bosque nativo.



La presencia de distintos estratos de vegetación en el bosque nativo puede generar un mayor consumo de agua que en las plantaciones. Sin embargo, las plantaciones consumen más agua durante los períodos secos (Foto archivo de INFOR).

6/ Actualmente Región de Los Ríos.

Siguiendo con el trabajo de Bren y Hopmans (2007), un segundo efecto de este cambio radical en la cubierta forestal desde bosque nativo a plantación de pino, es que el rendimiento de agua en el área plantada con pinos fue menor que el del bosque nativo durante los años de menor precipitación ocurridos en los 30 de observación. En los años secos, el rendimiento de agua de la cuenca con bosque nativo fue mayor que el de la plantación. Esto indicaría que la plantación de pino es más efectiva para obtener agua de suelos secos que el bosque nativo australiano, donde predominan las especies de *Eucalyptus*. A pesar de esta observación, que ciertamente es muy importante, la conclusión más clara de este estudio es que, en condiciones de precipitación normal (del orden de los 950 mm anuales en este caso), el requerimiento de agua de la plantación es menor que el del bosque nativo y por lo tanto el rendimiento de agua de la cuenca es mayor.

Peel *et al.* (2002) modelaron el efecto de reemplazar bosque nativo por plantaciones en Tasmania. La simulación arrojó un efecto negativo en el flujo de los meses más secos

cuando el bosque nativo fue convertido a plantación, aun cuando se plantó la misma especie que dominaba en el bosque nativo (*E. regnans*). La disminución fue de 3% en la primera rotación y de 20% en la segunda rotación, en relación a la situación original. Cuando se cambió la especie y se plantó una de mayor crecimiento (*E. nitens*) las reducciones estimadas por el modelo fueron de 4 y 33% para la primera y segunda rotación respectivamente.

El gráfico N°9 muestra una serie de curvas que estiman el cambio en la producción de agua en una cuenca cuando se reemplaza bosque nativo (con predominio de eucaliptos en este caso) por plantaciones de *Pinus radiata*. Las curvas fueron desarrolladas por Bren y Hopmans (2007) en base a una serie de ensayos establecidos en Australia y tienen como objetivo estimar el impacto de las plantaciones en el rendimiento de agua, dependiendo de la edad de la plantación y de la precipitación media anual. De acuerdo a estas curvas, en un área con una precipitación de 1400 mm anuales, un bosque de pino de 15 años de edad producirá un aumento de caudal de aproximadamente 100 mm, en relación al bosque nativo original; en cambio, a la misma edad, si la precipitación es de sólo 500 mm anuales, se generará una disminución en el caudal de aproximadamente 80 mm anuales. De acuerdo a estas curvas, sobre 1000 mm de precipitación, aproximadamente, se generaría un incremento en la producción de agua de la cuenca debido a la sustitución del bosque nativo por la plantación. Keenan *et al.* (2004) también reportan un aumento en los caudales después de la sustitución de bosque nativo por una plantación de pino, situación que se prolonga por lo menos 10 años.

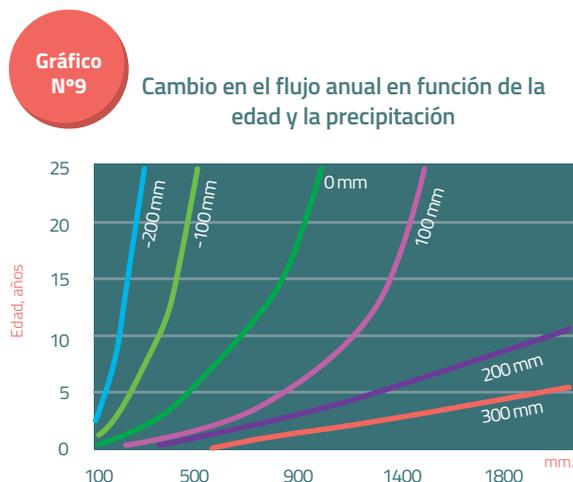


Figura adaptada libremente de Bren y Hopmans (2007).

Little *et al.* (2009) analizan el impacto de las plantaciones de *Pinus radiata* establecidas a partir de 1970 en dos cuencas de la zona semi-árida de Chile en la Región del Maule (725 y 835 mm de precipitación). En promedio, el área cubierta con bosque nativo en las cuencas estudiadas se redujo desde un 44,2% en 1975 a 11,5% el 2000 y el área con plantaciones se incrementó desde un 8,35% a un 48% de la superficie.

De acuerdo a este estudio, aproximadamente un 53% de la cubierta forestal nativa del área fue convertida a plantaciones con especies exóticas. Los resultados demuestran que la escorrentía anual y estacional está fuertemente relacionada con la precipitación, más que con los cambios en el uso del suelo. De hecho, los flujos anuales e invernales en una de las cuencas aumentaron y en la otra no mostraron cambios significativos. Sin embargo, los caudales en la temporada seca mostraron, en promedio, una disminución de 37,3%. Estos resultados concuerdan con los presentados anteriormente, en el sentido que el impacto de la sustitución en la producción de agua de una cuenca se produce en áreas de menor precipitación y particularmente en los meses secos.

Pizarro *et al.* (2006) trabajando en la misma región de Chile, no encontraron correlación entre el cambio de uso de la tierra (incremento de las plantaciones) y el caudal en el cauce del río Purapel. Concluyen que los cambios en el caudal se explican esencialmente por las variaciones en la precipitación.

El estudio de Otero *et al.* (1994) en la Provincia de Valdivia, Chile, llega a resultados muy similares, ya que reporta un cauce menor en las plantaciones de pino, en relación al bosque nativo, durante los meses de menor precipitación. El resto del año, las plantaciones generan más agua que el bosque nativo. La considerable reducción de la interceptación que se produce al reemplazar el bosque nativo valdiviano

En zonas de abundante precipitación (>1000 mm/año) las plantaciones forestales no tienen efectos negativos en la producción de agua y en algunos casos permiten incrementarla (Foto gentileza de CORMA).





por una plantación de pino (Huber e Iroumé, 2001) podría ser la explicación para este incremento en el rendimiento total de agua de la cuenca plantada.

Es importante destacar que en Chile el 74% de las plantaciones forestales de rápido crecimiento (INFOR, 2013) se encuentra en áreas con más de 1000 mm de precipitación anual⁷, por lo que, en estas condiciones, su impacto en la producción de agua a nivel de grandes cuencas es mínimo o inexistente. Es probable, sin embargo, que aún sobre los 1000 mm de precipitación exista un impacto negativo sobre el rendimiento de agua, durante los meses más secos en cuencas con una gran concentración de plantaciones.

Efecto del manejo de las plantaciones sobre los rendimientos de agua

El esquema de manejo que se aplique en la plantación puede afectar de manera importante el consumo de agua

En Chile, el 74% de las plantaciones forestales está en áreas con más de 1000 mm de precipitación anual, por lo que su impacto es mínimo en la producción de agua en grandes cuencas.

en la cuenca. El manejo de factores como el porcentaje de área plantada; rango de edad; régimen de raleos y la productividad del sitio pueden mitigar los efectos de una plantación en la producción de agua de una cuenca.

Las variables clave que determinan el uso de agua por parte de los árboles son el índice de área foliar⁸ y conductancia estomática⁹. Mientras esta última no puede ser fácilmente manipulada, el área foliar puede responder a prácticas de manejo, ajustándose a través de la nutrición, la densidad inicial de la plantación, la poda y especialmente el raleo. Los cambios en el área foliar afectan no sólo la transpiración de las copas, sino que también inciden en la interceptación, la transpiración de la vegetación baja y en la evaporación desde el suelo. Por ejemplo, Winkler *et al.* (2010) señalan que intervenciones de raleo en un bosque de pino radiata redujeron la interceptación en un 27%.

Obviamente que uno de los factores clave es el porcentaje de la cuenca que está plantado. Como se mencionó anteriormente, para que se note el impacto de las plantaciones en el caudal que genera una cuenca debe estar forestado como mínimo un 20% de su área (Keenan *et al.*, 2004). Otros estudios señalan que la magnitud del cambio sería directamente proporcional a la porción forestada en la cuenca (Bosch and Hewlett, 1982; Stednick, 1996).

Otra decisión de manejo que es fundamental es la selección de especies. En general se asume que el impacto de las coníferas puede ser mayor que el de las latifoliadas, debido a que la interceptación es mayor. Hay una serie de estudios que comparan pinos con eucaliptos, pero no hay concordancia en los resultados. Algunas investigaciones realizadas en Sudáfrica señalan que los eucaliptos consumen más agua que los pinos (Bosch 1979; Van Wyk 1987; Smith and Scott 1992; Dye, 1996; Scott and Smith, 1997), en cambio los estudios realizados en Australia entregan resultados más disímiles (Vertessy, 2000; Peel *et al.*, 2002; Keenan *et al.*, 2004; Bren y Hopmans, 2007).

Las investigaciones en Australia señalan que las plantaciones de *Pinus radiata* consumen más agua que los bosques nativos de *Eucalyptus*, sin embargo indican que no existe suficiente información para confirmar la hipótesis de que las plantaciones de pino tienen una mayor

7/ Considerando que la precipitación supera los 1000 mm anuales desde la Región del Biobío al sur.

8/ Índice de área foliar: relación entre área de las hojas del árbol (m²) y unidad de superficie del suelo (m²).

9/ Conductancia estomática: Facilidad con que los estomas permiten el intercambio gaseoso (CO₂, H₂O).

Algunos estudios señalan que las plantaciones generan un escaso impacto en la disminución del caudal de una cuenca en sus primeros años, por lo que su impacto en la producción de agua de las grandes cuencas no es significativo.

tasa de evapotranspiración (ET) que las plantaciones de eucaliptos manejadas en forma intensiva (Vertessy, 2000). Investigaciones más detalladas, a nivel fisiológico, indican que cuando el agua no constituye una limitante, *E. globulus* consumiría más agua que *Pinus radiata* (White *et al.*, 2000). Los valores máximos de conductancia estomática son, en general, mayores para las latifoliadas que para las coníferas, lo que explicaría esta diferencia.

Otros estudios en condiciones de humedad abundante, no encuentran diferencias significativas en el consumo de agua total, aun cuando perciben diferencias estacionales. Los pinos transpiran a mayor tasa que los eucaliptos durante el invierno (Vertessy, 2000). Por otra parte Beadle *et al.* (1995) y Battaglia and Sands (1997) observaron que la evapotranspiración de *E. globulus* sin restricciones de agua es cercana a la evapotranspiración potencial. Gras *et al.* (1993) no encuentran diferencias entre *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster* en Galicia y estiman un consumo de 1000 a 1100 mm por año. En el caso de Chile, Huber *et al.* (2010) confirman una mayor intercepción en las plantaciones de pino (*P. radiata*) en relación a las de eucalipto (*E. globulus*), pero a pesar de ello, los flujos fueron mayores en la plantación de pino, lo que se explicaría por una mayor evapotranspiración en la de eucalipto.

En general, las especies que han evolucionado en ambientes más secos suelen tener un índice de área foliar más bajo y una conductancia estomática menor, lo que les permite usar menos agua durante el período de mayor abundancia y así asegurar disponibilidad para el período seco. Ésto obviamente que afecta su tasa de crecimiento, la que está directamente relacionada con estos factores. Altos valores de área foliar y conductancia estomática son propios de las especies de rápido crecimiento, lo que les permite desarrollar todo su potencial en abundancia

de humedad, pero no tienen suficiente resistencia para superar largos períodos secos. Éstos son antecedentes que deben tenerse presentes cuando se trata de seleccionar especies para plantaciones en zonas áridas o semiáridas.

Otro factor que incide en la escorrentía y los caudales es la ubicación de las plantaciones en la cuenca. Plantaciones en el tercio bajo de la cuenca, donde los suelos por lo general son más profundos, tienden a generar un mayor efecto sobre el agua de los cauces, ya que los árboles pueden emplear mayor cantidad e inducir mayor acumulación de agua en el suelo y en las napas. Por el contrario, las plantaciones en el tercio alto de la cuenca tienen menos impacto, especialmente en ambientes con disponibilidad de agua limitada (Parsons *et al.*, 2007; Van Dijk y Kaenan, 2007, Zhang *et al.*, 2007).

Otra práctica de manejo, que es alejar las plantaciones de los cauces, puede reducir su efecto sobre los recursos hídricos, dependiendo de la vegetación existente a lo largo del cauce (Newman *et al.* 2006). Las áreas cercanas a los cauces tienen mayor disponibilidad de agua, por lo que los árboles crecen más rápido y desarrollan mayor follaje, lo que se traduce en mayor intercepción y más evapotranspiración (Zhang *et al.*, 2007).

La edad de las plantaciones también es muy importante. Vertessy (2000) y Putuhena y Cordery (2000) señalan que las plantaciones generan un escaso impacto en términos de disminución en el caudal de una cuenca en sus primeros años, por lo tanto, si una cuenca tiene un alto porcentaje de plantaciones jóvenes, el efecto sobre el rendimiento de agua puede ser considerablemente menor. Luego, en el período de mayor crecimiento, comienza el mayor consumo de agua que viene a disminuir cerca de los 30-35 años (Van Wyk 1987; Vertessy *et al.*, 2001). Por lo tanto, un balance adecuado en las clases de edad de



las plantaciones presentes en una cuenca puede ayudar a reducir el consumo o permitir un rendimiento de agua más uniforme en el tiempo.

Variaciones en la productividad del sitio también podrían afectar la magnitud del efecto de las plantaciones sobre el rendimiento de agua de una cuenca. En sitios pobres, la evapotranspiración será menor, por lo tanto su efecto sobre el rendimiento de agua también será menor. Sin embargo, si este sitio se fertiliza y aumenta el área foliar, la evapotranspiración también lo hará, lo que puede afectar el caudal de la cuenca. Un adecuado manejo de la fertilidad del suelo permite obtener un balance más favorable entre el volumen del fuste y el resto del árbol, lo que permitiría mantener la evapotranspiración más baja sin comprometer la tasa de crecimiento (Vertessy, 2000). Lo mismo podría lograrse a través de mejoramiento genético, pero en este caso la silvicultura ofrece soluciones más rápidas y más baratas (Dvorak, 2012).

Además de la ubicación de la plantación en la cuenca y de la distancia a los cauces, hay otros factores que inciden en la producción de agua. Los raleos pueden, aun cuando en forma temporal, aumentar el flujo de agua desde una plantación. Después de un raleo, dado que hay un menor número de árboles por hectárea, llega mayor cantidad de agua al suelo. Lo mismo sucede con las podas que

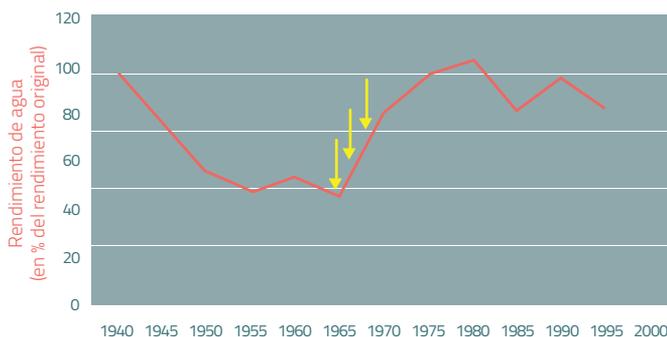
pueden tener un efecto significativo sobre la interceptación y la transpiración. La cosecha obviamente que tiene un fuerte impacto en el rendimiento de agua de una cuenca. El flujo anual aumenta significativamente en los primeros años después de la cosecha y se normaliza en la medida que la nueva plantación crece.

Andréassian (2004, de Mc Guinness y Harrold, 1976) presentan la evolución del balance hídrico de una cuenca de uso agrícola que es reforestada. Después de establecida la plantación se produce una rápida disminución en el rendimiento de agua de la cuenca plantada, para luego, entre los 10 y los 15 años, estabilizarse en aproximadamente el 45 a 50% del rendimiento de agua que tenía en su estado original. Lo interesante es que luego de tres intervenciones de raleo el rendimiento llega prácticamente al 100%, volviendo a la condición inicial. En el gráfico N°10 las flechas representan los raleos. Luego se produce el cierre de copas, lo que repercute en el rendimiento de agua, pero sin llegar a los niveles de reducción que alcanza en el período de máximo crecimiento.

Hawthorne (2011) también señala un incremento de 20 a 30% en el rendimiento de agua después de un raleo en un bosque de *Eucalyptus regnans* regenerado naturalmente luego de un gran incendio. En la medida que se activa el crecimiento de los árboles y se va produciendo el cierre de

Gráfico N°10

Evolución del rendimiento de agua de una cuenca agrícola reforestada



Adaptado de Andréassian, 2004.



Un paisaje variado, con distintas especies y clases de edad, ayuda a mitigar el impacto de las plantaciones en el rendimiento de agua de una cuenca (Foto gentileza de CONAF).

las copas, los flujos anuales tienden a volver a las cifras previas al raleo. En este caso, casi 40 años después, los flujos de los rodales raleados aún eran superiores a los de los testigos no raleados. White *et al.* (2000) entregan datos de un rodal de *E. nitens* cuatro meses después de raleos desde una densidad inicial de 1.250 árboles por hectárea a densidades de 600, 250 y 100 árboles por hectárea. La reducción de la transpiración fue proporcional a la del área foliar, ya que se disminuyó a un 55%, 36% y 23% respectivamente, en relación al testigo no raleado. Esto obviamente que reduce el consumo de agua por la plantación. Winkler *et al.* (2010), trabajando con cortas selectivas que en alguna medida se asemejan a un raleo, encontraron que el rendimiento de agua en la cuenca aumentaba a razón de 3 mm por cada punto porcentual de área basal removida.

Con el raleo se reduce la competencia, por lo tanto menos árboles tendrán acceso a los recursos disponibles en el sitio, generando mayores tasas de transpiración en árboles individuales, por lo general con un balance positivo en términos de producción de agua en la cuenca (White *et al.*, 2000). La duración del efecto del raleo en la escorrentía

y el caudal de un cauce dependerá de la velocidad con que los árboles vuelvan a ocupar el sitio en su totalidad. Keenan *et al.* (2004) señalan que el efecto del raleo en el aumento del caudal puede durar 4 años, cuando se ha extraído el 30% de la cobertura.

Esta serie de estudios permite concluir que hay muchos factores que pueden manejarse con el fin de reducir el consumo de agua por parte de las plantaciones, sin comprometer significativamente el crecimiento de los árboles. Una adecuada planificación en términos de especies, combinación de edad de los rodales, oportunidad y frecuencia de los raleos y podas y edad de la cosecha permiten generar un paisaje heterogéneo, que ayuda considerablemente a reducir el impacto de las plantaciones en el rendimiento de agua.

Efecto de las plantaciones sobre las inundaciones

El efecto de las plantaciones y de los bosques en general sobre la escorrentía es lo que permite regular los cauces y reducir la ocurrencia de inundaciones. El efecto de las plantaciones y de las intervenciones silviculturales, como raleos y



En cuanto a la calidad del agua, las plantaciones tienen un efecto positivo en relación a los cultivos agrícolas. El agua arrastra menos sedimentos y contiene menos productos químicos (Foto gentileza de CORMA).

cosechas, en los procesos hidrológicos y en la generación de flujos máximos (peakflows) es altamente variable y puede ser alterado no sólo por las intervenciones que se realicen en el bosque, sino que también por las condiciones climáticas y las características biofísicas de la cuenca (Winkler *et al.*, 2010).

Existen 3 mecanismos básicos por los que las plantaciones reducen el peligro de inundaciones. Primero, porque usan más agua que un cultivo o una pradera; segundo porque los bosques presentan una mayor capacidad de infiltración y por último, porque tienen una mayor rugosidad hidráulica, lo que hace que el agua se desplace a menor velocidad (Nisbet and Thomas, 2006). Los mismos autores señalan que las plantaciones de rotaciones cortas son más eficientes que los bosques "convencionales" para reducir el problema de inundaciones. Una buena cobertura de bosques en una cuenca y un adecuado manejo permiten desincronizar los cauces, reduciendo los riesgos de inundaciones o al menos retardando el "peak" de la avenida, lo cual permite tomar medidas de protección o evacuación.

Smith (1987) comparando la escorrentía de praderas y de bosques de pino radiata en Nueva Zelanda, encontró que durante una lluvia muy intensa (la mayor en 95 años), en la cuenca cubierta con pastos la escorrentía (Q) alcanzó al 80% de la lluvia caída, en tanto que en la cuenca con plantaciones sólo alcanzó al 31%. A pesar de la gran intensidad de la lluvia y del monto precipitado, la plantación de pino redujo considerablemente la escorrentía, confirmando el efecto positivo de las plantaciones en este aspecto y, en consecuencia, en las inundaciones.

Vertessy (2000) señala que los flujos máximos pueden reducirse a la mitad en cuencas reforestadas cuando se trata de tormentas de tamaño medio. En el caso de grandes tormentas, el efecto de las plantaciones, y de los bosques en general, se reduce considerablemente.

La infraestructura asociada a una plantación, incluyendo caminos, huellas de maderero, drenajes y alcantarillas

pueden tener un efecto importante en la escorrentía, pero su impacto es difícil de estimar a nivel de una cuenca. El tratamiento al suelo previo a la plantación también puede tener un efecto importante. Por ejemplo, la construcción de surcos en curvas de nivel puede reducir considerablemente la escorrentía.

Efecto de las plantaciones sobre la calidad del agua

Otro efecto positivo de las plantaciones en relación a los cultivos agrícolas o las tierras degradadas se refiere a la calidad del agua. En la mayoría de los países que han establecido sistemas de pago por servicios ambientales de los bosques, los pagos por calidad del agua son los más frecuentes (Calder *et al.*, 2008).

La calidad del agua varía considerablemente dependiendo de factores como el clima, la composición química de las rocas, la contaminación y el uso del suelo. Por lo general el agua producida en cuencas con bosques es de mejor calidad que la proveniente de áreas en donde existe agricultura, ganadería o minería. La movilización y lixiviación de nutrientes normalmente coincide con los aumentos en el rendimiento de agua de una cuenca. A mayor cantidad de agua generada por una cuenca, mayor es la posibilidad de que su calidad disminuya (Hornbeck *et al.*, 1995).

Está demostrado que las plantaciones tienen un positivo impacto en la reducción de sedimentos en los cursos de agua, especialmente si se les compara con las tierras agrícolas (Forestry Commission, 1998; Nisbet *et al.*, 2011).

Esta capacidad de producir agua pura puede ser fuertemente alterada si se hace la cosecha y luego el establecimiento de la nueva plantación sin tomar las medidas necesarias para reducir el impacto sobre el suelo. Una cosecha mal realizada, caminos mal diseñados y una preparación de suelo inadecuada pueden movilizar gran cantidad de sedimentos y contrarrestar los efectos positivos de la plantación sobre el suelo y la calidad del agua. No hay que

La calidad del agua varía dependiendo de factores como el clima, la contaminación y uso del suelo. Por lo general, el agua producida en cuencas con bosques es de mejor calidad.

olvidar que la escorrentía aumenta considerablemente después de la cosecha, especialmente si el suelo se ha compactado con el uso de maquinaria.

Otro aspecto interesante también ligado a la calidad del agua, se refiere a la contaminación con productos químicos. En este sentido las plantaciones tienen claros beneficios en comparación con los cultivos agrícolas, ya que disminuyen la contaminación del agua generada por el uso de fertilizantes, herbicidas y pesticidas y al disminuir la erosión también lo hace el material particulado. Por ejemplo, Nisbet *et al.* (2011) analizan el efecto de las plantaciones en la contaminación del agua producto de la lixiviación del N. De la observación de 60 sitios, concluyen que la pérdida media por lixiviación del N en actividades agrícolas varía entre 40 y 66 kg/ha/año dependiendo del cultivo, en tanto que los datos correspondientes a plantaciones varían entre 0 y 24 kg/ha/año. Aronson *et al.* (2000) y Nisbet *et al.* (2011) señalan que las plantaciones, aun cuando se fertilicen repetidamente

durante su etapa de mayor crecimiento, presentan muy bajos valores de lixiviación de N (<0.05 mg NO₃ – N /l), por lo tanto, las posibilidades de contaminar las napas freáticas son escasas.

En algunos países han surgido preocupaciones por los posibles efectos sobre la fauna que podría producir el agua generada en una cuenca plantada con eucaliptos. Como es sabido, las hojas y corteza de los eucaliptos contienen una serie de sustancias químicas que les permiten mantener el área libre de vegetación competidora y también defenderse del ataque de plagas y enfermedades (ver Capítulo 7). Estas sustancias se lixivian y pueden terminar en los cursos de agua. Al respecto existe una serie de estudios realizados en Australia y los resultados indican que no hay impactos sobre la fauna, incluyendo peces, crustáceos e insectos (UNDP, 2012).

Consideraciones finales

El efecto de una plantación forestal sobre el rendimiento de agua de una cuenca previamente deforestada es muy claro y no hay resultados contradictorios. Definitivamente, las plantaciones con especies de rápido crecimiento tienen un mayor consumo de agua que las praderas naturales, los cultivos anuales o la vegetación arbustiva. En general, un aumento de la vegetación arbórea y arbustiva genera una disminución en el rendimiento de agua, cualquiera sean las especies.

En cuanto al impacto de la sustitución de los bosques nativos por plantaciones, no hay evidencia de disminución en el rendimiento de agua; por el contrario, en áreas con abundante precipitación (>1000 mm/año) las plantaciones generan un aumento en los caudales promedio. Sin embargo, hay suficiente evidencia para señalar que las plantaciones tienen un impacto negativo en términos de producción de agua en áreas de escasa precipitación o durante los períodos secos. Esta situación puede ser crítica en zonas áridas y semiáridas, caracterizadas por largos períodos secos, donde los flujos pueden desapa-

recer, con importantes impactos ambientales y sociales. El impacto adverso de las plantaciones en la hidrología de una cuenca puede ser considerablemente reducido con una planificación adecuada. El manejo forestal, partiendo por la selección de especies, densidad de plantación, ubicación de éstas en el paisaje, distancia a los cauces y una buena planificación de las intervenciones de poda, raleo y cosecha, pueden ayudar a reducir los impactos en la producción de agua en aquellas zonas que se vean afectadas negativamente por la plantación. El establecimiento de un mosaico de situaciones en la cuenca permite que el impacto de las plantaciones en el rendimiento de agua se minimice y ambos objetivos, producción de madera y producción de agua sean compatibles.

El uso del agua disponible en una cuenca para la producción de madera es una alternativa viable y prácticamente sin restricciones en áreas de abundante precipitación. En Chile, esta situación se presenta desde la Región del Biobío al sur, en donde se encuentra el 74% de las plantaciones forestales. Desde la Región del Maule al norte existe una restricción creciente impuesta por la disminución de las precipitaciones, por lo que el establecimiento de plantaciones forestales requiere de mayor planificación con el fin de generar el menor impacto posible sobre la disponibilidad de agua necesaria para otras actividades.

Es importante estudiar el tema a nivel nacional y, siguiendo el ejemplo de otros países, determinar criterios para el establecimiento de plantaciones en zonas con largos períodos secos. Esto cobra particular importancia frente a un escenario de cambio climático que generaría condiciones de mayores temperaturas y menores precipitaciones en el tercio central del país.

Finalmente, los árboles de rápido crecimiento, que son la base de un negocio forestal dinámico y rentable, necesariamente van a consumir agua, pero es importante tener presente que en muchos casos, usar el agua para producir madera puede ser una buena decisión desde todo punto de vista.

Referencias

- Albhaisi, M., L. Brendonk and O. Batelaan. 2013.** Predicted impacts of land use change on groundwater recharge of the upper Berg catchment, South Africa. <http://wrc.org.za>.
- Almeida, A.C., J.V. Soares, J.J. Landsberg and G.D. Rezende. 2007.** Growth and water balance of *Eucalyptus grandis* hybrid plantations in Brazil during a short rotation for pulp production. *Forest Ecology and Management* 251, 10-21.
- Andréassian, V. 2004.** Waters and forests: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology* 291 (2004): 1 - 27.
- Aronsson, P.G., L. Bergstrom, S.N. Elowson. 2000.** Long term influence of intensively cultured short rotation willow coppice on nitrogen concentration in groundwater. *Journal of Environmental Management*, 58, 135 - 145.
- Battaglia, M. and P. Sands. 1997.** Modelling site productivity of *Eucalyptus globulus* in response to climatic and site factors. *Australian Journal of Plant Physiology* 24, 831-850.
- Beadle, C.L., Honeysett, J.L., Turnbull, C.R.A. and White, D.A. 1995.** Site limits to achieving genetic potential. In: Potts, B.M. *et al.* (eds). *Eucalypt Plantations: Improving Fibre Yield and Quality*. Proceedings CRC-IUFRO 26.
- Bosch, J.M. 1979.** Treatment effects on annual and dry period stream flows at Cathedral Peak. *South African Forestry Journal* 108, 29-38.
- Bosch, J.M. and J.D. Hewlett. 1982.** A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 55, 3-23.
- Bren, L. and P. Hopmans. 2007.** Paired catchment observations on the water yield of mature eucalypt and immature radiata pine plantations in Victoria, Australia. *Journal of Hydrology* (2007)336, 416 - 429.
- Brown, A., L. Zhang, T.A. McMahon, A.W. Western and R.A., Vertessy. 2005.** A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology* 310 (2005): 28-61.
- Bruijnzeel, L.A. 2004.** Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104 (2004): 185 - 228.
- Calder, I.R. Water use by forests, limits and controls. 1997.** *Tree Physiology* 18, 625 - 631.
- Calder, I.R. and M.D. Newson. 1979.** Land use and upland water resources in Britain - a strategic look. *Water Resources Bulletin*, 15, 1628-1639.
- Calder, I.R., I. Reid, T. Nisbet, A. Armstrong, J.C. Green and G. Parkin. 2002.** Study of the potential impacts on water resources of proposed afforestation. Final report of contracts CWO 633-I and CWO633II (Trees and Drought Project on Lowland England - TaDPoLE) to the Department for the Environment, Food and Rural Affairs publication, 179 pages.
- Calder, I.R., J. Harrison, T.R. Nisbet and R.J. Smithers. 2008.** Woodland actions for biodiversity and their role in water management. Woodland Trust.
- Davie, T. and B. Fahey. 2005.** Forestry and water yield: the New Zealand example. *New Zealand Journal of Forestry* 49 (4): 3-8.
- Dye, P.J. 1996.** Climate, forest and streamflow relationships in South African afforested catchments. *Commonwealth Forestry Review* 75, 31-38.
- Dvorak, W.S. 2012.** Water use in plantations of eucalypts and pines: a discussion paper from a tree breeding perspective. *International Forestry Review*, Vol. 14 (1), 2012.
- Eamus, D. 2009.** Impacts of plantation age, fire and disturbance on catchment water yield. *Land and Water Australia*; University of Technology, Sydney.
- Fahey, B. y R. Jackson. 1997.** Hydrological impacts of converting native forests and grasslands to pine planta-



tions, South Island, New Zealand. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume 84, Issues 1-2, March 1997, 69-82.

Forestry Commission. 1998. Forests and Soil Conservation Guidelines. Forestry Commission, Edinburgh, UK.

Gras, J.M., J.A.Vega, S. Bara. 1993. Six years of study on fast growing plantations catchments in the Northwest of Spain. *Acta Geológica Hispánica*, v. 28 (1993), n° 2-3, 111-117.

Hassan, R.B., B. Olbrich and J. Crafford. 2002. Measuring total economic benefits from water in plantation forestry: Application of quasi I-O framework to the Crocodile catchment in South Africa. *South African Forestry Journal* 193, 5-14.

Hawthorne, S.N.D. 2011. The Long Term Impact of Thinning on Water Yield. Submitted in total fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy. December 2011. Department of Forest and Ecosystem Science. The University of Melbourne.

Heal, V., R.T. Stidson, C.A. Dickey, J.N. Cape & M. R. Heal. 2004. New data for water losses from mature Sitka spruce plantations in temperate upland catchments. *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*, 49(3) June 2004, 477-493.

Hornbeck, J.W., M.B. Adams, E.S. Corbett, E.S. Verry and J.A. Lynch. 1995. A summary of water yield on hardwood forested watersheds in northeastern United States. 10th Central Harwood Forest Conference. Gen. Tech. Rep. NE-197. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 577 p.

Huber A. y A. Iroumé. 2001. Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology* 248 (2001): 78 – 92.

Huber A. y R. Trecaman. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque* 25(3): 33 - 43.

Huber, A., A. Iroumé, C. Mohr and C. Frêne. 2010. Efecto de plantaciones de *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* sobre el recurso agua en la Cordillera de la Costa de la Región del Biobío, Chile. *Bosque* 31 (3): 219 – 230.

INFOR. 2013. El sector forestal chileno 2013. Instituto Forestal, Chile.

Jacobson, M.G. 2003. Wood versus water. Timber Plantations in Semiarid South Africa. *Journal of Forestry*; July/August 2003, 5, 31-35.

Kaimowitz, D. 2005. Forest and water: a policy perspective. Center for International Forestry Research (CIFOR), Indonesia. 8 p.

Keenan, R.J., A. Gerrard, S. Nambiar, and M. Parsons. 2004. Plantations and water: Plantation impacts on streamflow. Bureau of Rural Sciences, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Canberra.

Lima, W.P., R. Laprovitera, S.F. Ferraz, C.B. Rodrigues and M.M. Silva. 2011. Forest Plantations and Water Consumption : a strategy for Hydrosolidarity. *International Journal of Forestry Research*, Vol. 2012 (2012) Article ID 908465, 8 p.

Little, C., A. Lara, J. McPhee, R. Urrutia. 2009. Revealing the impacts of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *J. Hydrol.* (2009) Doi:10.2016/j.jhydrol.2009.06.011.

McGuire, K. and G.E. Likens. Historical roots of forest hydrology and biogeochemistry. In: *Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions*. Ed. by D.F. Levia; D. Carlyle-Moses and T. Tanaka. *Ecological Studies* 216. Springer.

Newman, B. D., B. P. Wilcox, S. R. Archer, D. D. Breshears, C. N. Dahm, C. J. Duffy, N. G. McDowell, F. M. Phillips, B. R. Scanlon, and E. R. Vivoni. 2006. Ecohydrology of water-limited environments: A scientific vision, *Water Resources Research*, 42, W06302, doi:10.1029/2005WR004141.

Nisbet, T. 2005. Water use by trees. Information Note. Forestry Commission, Edinburgh. 8 p.

Nisbet, T.R. and Thomas, H. 2006. The role of woodland in flood control: a landscape perspective. In Water and the landscape: The Landscape Ecology of Freshwater Ecosystems. The fourteenth annual IALE (UK) conference Eds. B. Davies and S. Thompson. Oxford Brookes University.

Nisbet, T., H. Thomas and N. Shah. 2011. Short rotation forestry and water. In: McKay, H. (ed.) (2011) Short Rotation Forestry: review of growth and environmental impacts. Forest Research Monograph, 2, Forest Research, Surrey. 212 p.

Otero, L., A. Contreras, L. Barrales. 1994. Efectos ambientales del reemplazo de bosque nativo por plantaciones (Estudio de cuatro microcuencas en la Provincia de Valdivia) Ciencia e Investigación Forestal, Volumen 8, N°2, 1994, 253-276.

Peel, M.C., F.G. Watson and R.A. Vertessy. 2002. Modelling of low flows in the North Esk River using the Macaque Model. Final for Launceston City Council. 52 p.

Parsons, M., I. Frakes and A. Gerrand. 2007. Plantations and water use. Revised Edition. Science for Decision Makers. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry. Australian Government.

Pizarro, R., S. Araya, C. Jordán, C. Farías, J. Flores, P. Bro. 2006. The effects of changes in vegetative cover on river flows in the Purapel river basin of central Chile. Journal of Hydrology 327 (1-2): 249-257.

Prosser and Polglase. 2006. Plantations and Water. CSIRO. Canberra.

Putuhena, W. and I. Cordery. 2000. Some hydrological effect of changing forest cover from eucalypts to Pinus radiata. Agricultural and Forest Meteorology 100, 59-72.

Roberts, S., S. Read, M. McLarin, P. Adams. 2011. Predicting the water use of *Eucalyptus nitens* plantations in Tasmania using a Forest Estate Model. Forests and Wood products Australia. Project Number: PNC 143.0809, September 2011.

Scott, D.F. and Smith, R.E. 1997. Preliminary empirical models to predict reductions in total and low flows resulting from afforestation. Water South Africa 23, 135-140.

Scott, D. 1998. Forestry and water resources: Correct figures. South African Forestry Journal 181: 51-52.

Shi, Z., D. Xu, X. Yang, Z. Jia, H. Guo and N. Zhang, 2012. Ecohydrological impacts of eucalypt plantations: A review. Journal of Food, Agriculture & Environment. Vol. 10 (3&4): 1419-1426.

Smith, P.J.T. 1987. Variation of water yield from catchments under introduced pasture grass and exotic forest, East Otago. Journal of Hydrology (N.Z.) Vol. 26, No 2, 175-184.

Smith, R.E. and Scott, D.F. 1992. The effects of afforestation on low flows in various regions of South Africa. Water South Africa 18, 185-194.

Stednick, J.D. 1996. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. Journal of Hydrology 176, 79-95.

UNDP. 2012. United Nations Development Programme. Stora Enso Guangxi Forest and Industrial Project. Summary Integrated Environmental and Social Impact Analysis. Final Report. 27 April 2012.

Vallejos-Barra, O., R. M. Pizarro-Tapia, M. A. Vásquez Sandoval, F. J. Balocchi-Contreras, C. M. Morales-Calderón, L. León-Gutiérrez, L. P. Vega-Torres. 2010. Efecto de la vegetación en la intercepción de la precipitación en la precordillera de la Región del Maule, Chile. Effect of vegetation on precipitation interception in the Andean foothills of the Maule Region, Chile. Revista Chipango Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(2): 207-214.

Vanclay, J.K. 2009. Managing water use from forest plantations. 2009. Forest Ecology and Management, vol. 257, n° 2, 385-389.

Van Dijk and R. Kaenan. 2007. Planted forests and water in perspective. Forest Ecology and Management 251 (2007): 1-9.

Van Wyk, D.B. 1987. Some effects of afforestation on streamflow in the Western Cape Province, South Africa. *Water South Africa* 13, 31-36.

Vertessy, R.A., R.G. Benyon, S.K. O'Sullivan and P.R. Gribben, 1995. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology* 15, 559-567.

Vertessy, R. A. 2000. Impacts of Plantation Forestry on Catchment Runoff Plantations. *Farm Forestry and Water. Proceedings of a national workshop, 20-21 July 2000, Melbourne. Agriculture, Forests and Fisheries-Australia Joint Venture Agroforestry Program CSIRO Forestry and Forest Products.*

Vertessy, R.A., F. G. Watson , S.K. O'Sullivan. 2001. Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests. *Forest Ecology and Management* 143(1-3): 13-26.

Watson, F.G.R., R.A. Vertessy and R.B. Grayson, 1999. Large-scale modelling of forest hydrological processes and their long-term effect on water yield. *Hydrological Processes*, 13, 689-700.

Webb, A.A., B.W. Jarrett and L.M. Turner. 2007. Effects of plantation forest harvesting on water quality and quantity: Canobolas State Forest, NSW. In: *Proceedings of the 5th Australian Stream Management Conference. Australian rivers: making a difference. Charles Sturt University. New South Wales.*

White D.A., C.L. Beadle, M. Battaglia, R.G. Benyon, F.X. Dunin and J.L. Medhurst (2000) A Physiological Basis for Management of Water Use by Tree Crops. *Proceedings of a national workshop, 20-21 July 2000, Melbourne. Agriculture, Forests and Fisheries-Australia. Joint Venture Agroforestry Program CSIRO Forestry and Forest Products.*

Winkler, R.D., R.D. Moore, T. Redding, D. Spittlehouse, B. Smerdon, D.E. Carlyle-Moses. 2010. In: Pike, R.G., T.E. Redding, R.D. Moore, R.D. Winker and K.D. Bladon (editors). 2010. *Compendium of forest hydrology and geomorphology in British Columbia. B.C. Min. For. Range,*

For. Sci. Prog., Victoria, B.C. and FORREX Forum for Research and Extension in Natural Resources, Kamloops, B.C. Land Manag. Handb. 66. www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Lmh/Lmh66.htm.

Wood, S., J. Beringer, L.B. Hutley, A. D. McGuire, A. Van Dijk and M. Kilinc. 2008. Impacts of fire on forest age and runoff in mountain ash forests. *Functional Plant Biology* 35(6) 483 - 492.

Zhang, L., R. Vertessy, G. Walker, M. Gilfedder, P. Hairsine. 2007. Afforestation in a catchment context. Understanding the impacts on water yield and salinity. *Industry Report 1/07, eWater CRC, Melbourne, Australia.*

Zhang, J., F. Zhao and A. Brown. 2012. Predicting effects of plantation expansion on streamflow regime for catchments in Australia. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 16, 2109 – 2121.



07 Efecto de las Plantaciones sobre **EL SUELO**

Uno de los principales efectos de las plantaciones sobre el suelo es de tipo físico. Si consideramos que la mayoría de ellas, al menos en Chile, se ha establecido en suelos con un algún grado de deterioro, el efecto de los árboles en el suelo es por lo general beneficioso. La cubierta forestal reduce los procesos erosivos, permitiendo que se inicie un proceso de recuperación del suelo, ya que éste se estabiliza, permitiendo una mayor infiltración de agua e incorporación de materia orgánica, dando origen a una serie de procesos químicos y biológicos que permiten recuperar, aunque en un proceso lento, ciertas características perdidas en suelos degradados, partiendo por su fertilidad. Dado que sobre estos procesos no hay grandes discrepancias, no se considera necesario entrar en detalles sobre el efecto de las plantaciones en las condiciones físicas del suelo. Los beneficios son evidentes.



Las plantaciones forestales han jugado un rol fundamental en la recuperación de terrenos degradados en Chile. Los árboles detienen la erosión y lentamente van recuperando el suelo deteriorado.

Sin embargo, es necesario mencionar que las malas prácticas forestales, especialmente al momento de la cosecha, pueden tener un efecto negativo y todo lo que se ha ganado en la recuperación del suelo durante el tiempo que dura la rotación, se puede perder en unos días. Es muy importante que las actividades de cosecha, incluyendo la construcción de caminos y vías de madereo, sean adecuadamente planeadas y ejecutadas, teniendo en cuenta las condiciones de suelo, topografía y clima.

Los procesos químicos, en cambio, requieren de mayor explicación. Los temas más recurrentes, cuando se habla del efecto de las plantaciones sobre el suelo, son la acidificación en las plantaciones de pino y el efecto de los eucaliptos, que de acuerdo a la creencia general,

generarían una especie de esterilidad permanente, impidiendo el crecimiento de otra vegetación. Estas creencias tienen una base real, pero el desconocimiento de los verdaderos efectos de estas transformaciones las convierte en mitos que generan, en algunos, aversión por las plantaciones forestales.

Propiedades químicas que afectan la calidad del suelo y efecto de las plantaciones sobre ellas

Antes de entrar en este tema tan específico, es importante destacar la estrecha relación entre calidad de sitio, productividad y calidad del suelo¹. La mantención de la productividad forestal en el largo plazo depende de la mantención de la calidad del suelo, y por lo tan-

Plantaciones y control de erosión en Chile

Las plantaciones forestales en Chile se iniciaron como respuesta a un serio problema ambiental que era el evidente deterioro del suelo en millones de hectáreas que, sin tener las condiciones adecuadas, habían sido habilitadas para la agricultura. La recuperación de estos suelos, en muchos casos severamente afectados por la erosión, es uno de los principales beneficios ambientales que generan las plantaciones forestales. El hecho de incorporar suelos degradados a la actividad forestal, además de los beneficios directos que genera esta inclusión, causa una importante externalidad positiva, ya que la sociedad en general, no sólo el propietario del suelo, valora la recuperación de éste como recurso (CONAF, 1998).

No existe un estudio actualizado en relación al impacto de las plantaciones en la recuperación de suelos en Chile, pero durante los primeros 20 años de aplicación del D.L. 701 se plantaron cerca de 1,2 millones de hectáreas afectadas por la erosión, de las cuales, según una estimación realizada por CONAF (CONAF, 1998), 535.000 hectáreas estaban afectadas por erosión severa o muy severa. Entre 1974 y 1993, un 44% de las plantaciones se estableció en suelos afectados por erosión moderada; 35,3% en suelos con erosión severa, 7,4% en suelos con erosión muy severa y sólo un 13,3% de las plantaciones se estableció en suelos con erosión leve o sin ella. Han pasado más de 20 años desde este estudio y se ha plantado por lo menos otro millón de hectáreas, por lo que los beneficios en términos de recuperación de suelos degradados por lo menos se han duplicado.

1/ A los lectores que no son especialistas en el tema les puede parecer redundante hablar de calidad de sitio y calidad del suelo. El sitio es un concepto mucho más amplio que combina las condiciones de suelo, clima y eventualmente otros factores que puedan afectar el crecimiento de los árboles.

La acidificación de los suelos es un proceso natural, ya que prácticamente todos los bosques la producen.

to es necesario monitorearla como un indicador de sostenibilidad. Desde este punto de vista, el suelo es fundamental, tanto como el agua y el aire y por lo tanto debe recibir una atención particular, ya que es uno de los componentes del ecosistema que puede verse más afectado por las prácticas silviculturales y una vez dañado es el más difícil de recuperar (Schoenholtz *et al.* 2000).

Entre los aspectos que determinan la calidad del suelo, además de sus características físicas (textura, estructura, etc.), el contenido de nutrientes, su capacidad de retención de agua y de captura de carbono, entre otras, están los procesos químicos. Al respecto, es importante señalar que es difícil separar los procesos que ocurren en el suelo entre químicos, físicos y biológicos, debido a su naturaleza dinámica y la fuerte relación existente entre ellos. Por ejemplo, el contenido de materia orgánica juega un papel fundamental en casi todas las funciones del suelo. Asimismo, muchas de sus propiedades químicas tienen una influencia directa en los procesos microbiológicos, los que a su vez determinan el contenido y disponibilidad de nutrientes y el movimiento y disponibilidad de agua en el suelo.

El pH es una de las propiedades químicas que más incide en la calidad del suelo, especialmente por su influencia en la disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, debido a

su incidencia en diversos procesos químicos y biológicos que ocurren en forma simultánea, el pH, por sí solo, no es un buen indicador de la productividad de un suelo (Schoenholtz *et al.* 2000). Hay otros indicadores que son tan o más importantes que el pH, como la capacidad de intercambio de cationes (CIC) o el porcentaje de saturación de bases. Como en este caso se quieren despejar sólo las interrogantes más comunes en relación al efecto de las plantaciones sobre los procesos químicos en el suelo, sólo se analizará en más detalle el tema de la acidificación del suelo.

Lo primero que hay que señalar en relación al efecto de las plantaciones sobre el pH de los suelos es que la acidificación² es un proceso pedogénico natural en suelos que se encuentran cubiertos por ecosistemas forestales, como resultado de la formación de ácidos orgánicos asociada con el intercambio de carbono orgánico y la lixiviación hacia horizontes profundos del suelo (Schoenholtz *et al.* 2000). En términos simples: prácticamente todos los bosques acidifican los suelos.

Como cualquier bosque, las plantaciones forestales cambian los procesos químicos en el suelo. Como regla general, cuando se establecen en suelos que antes se ocupaban en agricultura o praderas, lo acidifican. En condiciones naturales, algunas especies, particular-

^{2/} Reducción del pH en el suelo.

mente latifoliadas, pueden incrementar el pH del suelo y el intercambio de bases (Ca, Mg), en cambio las coníferas tienen la tendencia a acidificar el suelo, es decir, a disminuir el pH, a la vez que aumentan la concentración de Al y Fe. Estos procesos son bastante complejos y dependen de muchas variables, incluyendo el material parental del suelo, y comúnmente ocurren en el liter^3 y en los primeros centímetros del suelo (Finzi *et al.*, 1998). En general, se puede esperar que las plantaciones de coníferas tengan un mayor efecto sobre la acidez del suelo que las de latifoliadas (Binkley and Valentine, 1991; Binkley, 1995).

Uno de los procesos que afecta el pH y la concentración de cationes intercambiables en el suelo es la capacidad de las especies para producir ácidos orgánicos en el proceso de descomposición del *litter*. Esto se observa en especies con una *hojarasca* de descomposición lenta, como es el caso de las coníferas. En estas condiciones, los cationes básicos (Ca, Mg) son transportados hacia los horizontes inferiores del suelo y se pierden del ecosistema (Finzi *et al.*, 1998).

Los cambios en el pH del suelo tienen efectos en otros procesos, incluyendo la capacidad de absorción de nutrientes por parte de los árboles. Por ejemplo, en suelos ácidos (pH bajo) los elementos Ca, K, Mg, S y especialmente el P, reducen su disponibilidad para las

plantas, aun cuando estén presentes en el suelo. Un ejemplo típico es la escasa disponibilidad de P para las plantas en los suelos volcánicos, a pesar de que contienen abundante cantidad de este elemento. Los suelos muy básicos también generan problemas con la absorción del Bo, Cu, Zn y especialmente de Fe y Mn. Al respecto Schoenholtz *et al.* (2000) señalan que los suelos forestales con un pH alto (básicos) no necesariamente son mejores que los suelos ácidos, ya que pueden afectar de manera importante la disponibilidad de varios nutrientes.

Tanto los pinos como los eucaliptos generan *hojarasca* que es de lenta descomposición y, de acuerdo a lo señalado previamente, tienden a producir un cambio en las condiciones químicas del suelo, disminuyendo el pH



En las plantaciones de pino, la hojarasca es de lenta descomposición y tiende a favorecer una reducción en el pH del suelo, es decir, a acidificarlo. Sin embargo, los niveles de acidez que presentan estos suelos por lo general no constituyen un problema para el adecuado crecimiento de los árboles.

3/ *Hojarasca en descomposición.*

(aumentando la acidez) y el intercambio de cationes. En todo caso, el impacto de estos cambios en la dinámica del bosque y en los procesos ecosistémicos no siempre es evidente (Finzi *et al.*, 1998).

En condiciones naturales, los procesos de acidificación son muy lentos y en muchos casos son compensados por propiedades del suelo, como el reciclaje de nutrientes o la disponibilidad de nutrientes minerales que son capaces de eliminar o al menos reducir los efectos de la acidificación. Es por esto que existen escasas referencias a la corrección de este problema en la silvicultura tradicional.

A pesar de esto, la acidificación de los suelos ha sido un tema ampliamente investigado, ya que las deposiciones

atmosféricas de nitrógeno y azufre, más conocidas como lluvia ácida, han alterado considerablemente las propiedades químicas y biológicas de los suelos del norte de Europa, impactando negativamente el crecimiento de los bosques. La acidificación del suelo, cuando pasa de ciertos límites, puede afectar severamente su calidad, debido a que dificulta la absorción de nutrientes y en casos extremos, una alta concentración de Al, generada por un rápido proceso de lixiviación de los cationes básicos, podría resultar en algún grado de toxicidad. La acidificación del suelo también puede generar una desestabilización del sistema radicular de los árboles, debido a la pérdida de raíces finas e incluso medias, lo cual los hace más sensibles al viento, la sequía y las deficiencias de nutrientes minerales (Persson and Ahlström, 1990/91). Una acidez extrema del suelo también puede limitar el desarrollo de micorrizas, dificultando la absorción de nutrientes. Todos estos problemas se reflejan en una pérdida de crecimiento de los árboles.

Un caso particular de rápida acidificación de suelos en condiciones naturales ocurre en los bosques de aliso (*Alnus spp.*) en el oeste de Norte América. Esta especie tiene la capacidad de fijar grandes cantidades de Nitrógeno (N), mucho más de lo que la planta puede utilizar, lo que genera procesos de nitrificación que reducen el pH del suelo afectando la absorción de nutrientes por los árboles (Johnson *et al.*, 1991). La tasa de acidificación en un bosque de aliso es comparable con las mayores tasas de acidificación en suelos forestales producto de las deposiciones atmosféricas.

Corrección de la acidez del suelo en plantaciones

La aplicación de cal⁴ para corregir la acidez excesiva del suelo data de fines del siglo XIX. En 1881 se estableció en Inglaterra un bosque en tierras tratadas con cal, generando efectos positivos al menos hasta 1964 (Johnson *et al.*, 1995). Entre 1950 y 1960 se estableció en Finlandia una serie de experimentos destinados a movilizar las reservas de nutrientes en suelos forestales afectados por una excesiva acidez. En tiempos más recientes, debido a los problemas causados por la lluvia ácida, la aplicación de cal se ha convertido en una práctica corriente en los países afectados por este fenómeno.

En condiciones naturales, los procesos de acidificación son muy lentos y en muchos casos son compensados por propiedades del suelo.

4/Normalmente se aplica Carbonato de Calcio (CaCO₃).

Los resultados de la aplicación de cal pueden ser extremadamente variables, dependiendo de las condiciones del suelo y del tratamiento empleado para su aplicación (Formánek y Vranová, 2002). Por lo general la respuesta de los procesos químicos y biológicos del suelo es lenta, y puede en los primeros años, generar impactos negativos, los que incluso se traducen en una disminución en el crecimiento de los árboles. Por ejemplo, Derome (1990/91) y Persson and Ahlström (1990/91) coinciden en que la aplicación de cal tiene un efecto negativo en el corto plazo, ya que afecta la disponibilidad de N, debido a que estimula la actividad microbiana en el suelo, generando una competencia por el N disponible. Otros estudios, en cambio, señalan que la disponibilidad de N en el humus se incrementa considerablemente después de la aplicación (Formánek y Vranová, 2002).

Por sobre estas diferencias en cuanto a los impactos de corto plazo, hay total coincidencia en que la aplicación de cal tiene efectos positivos en el suelo en el largo plazo. En muchos casos los efectos tardan hasta más de 10 años en manifestarse, pero tienen larga duración. Son

muchos los estudios (en Formánek y Vranová, 2002) que reportan los primeros efectos después de 8, 10 ó 12 años y una duración de éstos de hasta más de 30 años. Los estudios reportan cambios favorables en las condiciones del suelo, incluyendo los horizontes minerales, un incremento en la disponibilidad de una serie de elementos (Ca, Mg, P, K) en distintos niveles del suelo y un aumento en la microflora y componentes bacterianos, favoreciendo la liberación de nutrientes desde la materia orgánica del suelo. Como ya se mencionó, varios estudios encontraron efectos negativos en relación a la dinámica del Nitrógeno (N), que varían según la disponibilidad de este elemento en el suelo.

En suelos con limitaciones en la disponibilidad de N la cal puede incrementar las deficiencias de este elemento, en cambio en suelos con abundancia de N, estimula la nitrificación, lo que podría conducir a la contaminación de las aguas con nitratos.

La aplicación de cal no sólo afecta los procesos químicos y biológicos del suelo, sino que también puede influir en el

Rangos de acidez para distintas especies forestales

Las especies forestales pueden prosperar en un amplio rango de pH en el suelo. En el cuadro siguiente se presentan los rangos de pH asociados a algunas especies norteamericanas. Las que pueden crecer con un mayor rango de pH y que acidifican más los suelos son Álamo, Encina y Fresno.

Rangos de acidez para algunas especies forestales

Cuadro N°6

| Especies | Rango de pH |
|----------------------------------|-------------|
| Abedul (<i>Betula sp.</i>) | 4.5 – 6.0 |
| Alamo (<i>Populus sp.</i>) | 3.6 – 7.5 |
| Encina (<i>Quercus sp.</i>) | 3.6 – 6.3 |
| Fresno (<i>Fraxinus sp.</i>) | 3.6 – 7.5 |
| Pino (<i>Pinus sp.</i>) | 4.5 – 7.0 |
| Sicomoro (<i>Platanus sp.</i>) | 4.4 – 7.5 |

Fuente: Williston y La Fayette, 1978.

desarrollo del sistema radicular de los árboles. Incrementa la longitud y biomasa de las raíces finas, estimulando la absorción de nutrientes (Bakker *et al.*, 1999).

La aplicación de cal en dosis relativamente bajas (2 a 3 ton/ha cada 20 ó 30 años)⁵ parece ser suficiente para contrarrestar la acidificación del suelo sin causar efectos adversos en la disponibilidad de nutrientes y mejorar los procesos biológicos del suelo y el estado nutricional y, en consecuencia, el vigor de los árboles (Derome, 1990/91; Matzner and Meiwes, 1990/91).

Efectos alelopáticos⁶ de los eucaliptos

Uno de los grandes argumentos en contra de las plantaciones de eucaliptos es que vuelven estéril el suelo en que crecen. La creencia popular es que donde se plantó eucaliptos nada más vuelve a crecer.

Ésta tiene fundamentos. Debajo o al lado de un eucalipto prácticamente no crece nada, debido a un fenómeno llamado alelopatía, que se presenta en muchas especies vegetales.

Los ecosistemas forestales están compuestos por una serie de organismos vivos, incluyendo plantas, animales y microorganismos, todos interactuando y compitiendo por los recursos disponibles: nutrientes, agua y luz. Entre las estrategias desarrolladas por muchas plantas para lograr el máximo de estos recursos está la liberación de compuestos químicos para eliminar o al menos dificultar el establecimiento de otras especies, que es lo que se denomina alelopatía. La mayoría de las especies invasoras tiene un significativo potencial alelopático.

La alelopatía es mucho más frecuente de lo que parece y no es una característica exclusiva de los eucaliptos. En la flora chilena hay árboles severamente alelopáticos, entre ellos el algarrobo (*Prosopis spp.*) y el pimientón (*Schinus molle*). También se presenta en especies frutales. Por ejemplo en el nogal (*Juglans regia*).

¿Qué es la alelopatía? El término se refiere a los efectos de una planta sobre otra mediante la liberación de compuestos bioquímicos desde componentes de

En el caso de acidez de los suelos, la aplicación de cal en dosis relativamente bajas parece ser suficiente para resolver este problema.

la planta (por ejemplo hojas, corteza, flores) a través de procesos de lixiviación; exudación desde las raíces; volatilización o por descomposición. Normalmente estos compuestos actúan sobre la germinación de la semilla de otras especies, e incluso de la semilla de la misma especie, y sobre el crecimiento de las plantas recién germinadas. En muchas especies de *Eucalyptus* la regeneración natural sólo se produce después de un incendio, que permite la eliminación de las sustancias alelopáticas contenidas en la materia orgánica acumulada sobre el suelo que impiden la germinación de las semillas. Jacobs (1955) y Grose (1960) citados por Gill (1997) observaron los efectos negativos de la acumulación de liter en la regeneración natural de varias especies de *Eucalyptus*, incluyendo *E. regnans*. Otras especies, por ejemplo *Leucaena*, sólo inhiben el desarrollo de competidoras.

La inhibición alelopática es muy compleja y puede involucrar la acción directa o la interacción de diferentes compuestos químicos, incluyendo compuestos fenólicos, flavonoides, terpenoides, alcaloides, esteroides, aminoácidos, entre otros (Ferguson *et al.*, 2003). También es posible que éstos se transformen una vez que toman contacto con el suelo, lo que puede resultar en productos de mayor o menor fitotoxicidad. Los aleloquímicos también pueden

^{5/} El cultivo de maíz necesita entre 300 y 660 kg de fertilizante nitrogenado por año (Fundación Chile, 2011) a lo que se agregan entre 1500 y 3500 kg de CaCO₃ cada 2 ó 3 años.

^{6/} La alelopatía por lo general no es un efecto sobre el suelo, sino que sobre otras especies, pero como la creencia popular es que los eucaliptos esterilizan el suelo, se estimó conveniente tratar el tema en este capítulo.

afectar a las plantas a través de la inhibición de especies simbioses, tales como bacterias micorrízicas, que ayudan en la fijación de nitrógeno (Kruse *et al.*, 2000).

Además del efecto tóxico directo sobre otras plantas, algunos aleloquímicos pueden incidir en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, ya que tendrían la capacidad de modificar algunas de sus características, como la conductividad eléctrica y el pH.

El efecto de las sustancias alelopáticas puede variar dependiendo de las condiciones de suelo, temperatura, luz, precipitación, disponibilidad de agua y nutrientes y el tipo de vegetación presente en el área (Zhang *et al.*, 2010). Entre los factores más relevantes están la precipitación y la disponibilidad de agua en el suelo, ya que inciden fuertemente en la concentración de sustancias en éste. En climas lluviosos, las sustancias alelopáticas tienden a lixiviarse hacia horizontes más profundos del suelo, por lo que pierden su efecto sobre la germinación de las semillas. En climas secos, en cambio, las sustancias tienden a acumularse, aumentando su concentración y en consecuencia su capacidad de afectar la germinación y crecimiento de otras especies. May and Ash (1990) sugieren que la alelopatía generada por las especies de *Eucalyptus* es un problema sólo en climas secos. Otro aspecto que incide en el efecto de los aleloquímicos es la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Gran parte de los efectos pueden eliminarse con adecuada fertilización y riego, lo cual sería aplicable en tierras agrícolas que se ven afectadas por plantaciones vecinas (Espinoso-García *et al.* 2008).

El efecto alelopático de los eucaliptos ha sido muy estudiado, especialmente en relación a su impacto en la germinación y crecimiento de especies hortícolas. En la mayoría de los casos se ha demostrado que los aleloquímicos generados por estas especies, principalmente los contenidos en las hojas, afectan negativamente la germinación y desarrollo de especies agrícolas (Kruse *et al.*, 2000; Zhang and Fu, 2009; Zhang and Fu, 2010; Fikreyesus *et al.*, 2011; Rassaeifar *et al.*, 2013). Sin embargo no todas son afectadas de la misma manera, ya que incluso algunas se ven favorecidas por la presencia de los aleloquímicos generados por los eucaliptos (Zhang

Las sustancias alelopáticas no tienen un efecto de largo plazo en el suelo. Al remover los eucaliptos, su concentración disminuye.

and Fu, 2010), lo cual ha llevado a muchos investigadores a analizar el potencial de la alelopatía en la producción de herbicidas específicos (Rassaifer *et al.*, 2013; Ferguson *et al.*, 2013; Imatomi *et al.*, 2013).

En ecosistemas naturales los fenómenos alelopáticos pueden tener una serie de impactos, por su incidencia directa en la regeneración y desarrollo de otras especies o indirectamente, a través de la alteración de algunas propiedades del suelo y de poblaciones de microorganismos, insectos y nemátodos. La distribución natural de algunas especies puede verse alterada y en consecuencia, los procesos de dinámica poblacional (Reigosa y González, 2006). En plantaciones, en cambio, desde el punto de vista de la productividad, la alelopatía no tiene mayor importancia. Por el contrario, el control de especies competidoras favorece el desarrollo de los árboles plantados. Desde el punto de vista ambiental, puede ser una causa de reducción de la diversidad biológica en el área de plantación, ya que puede afectar el establecimiento de especies vegetales y animales, pero tampoco tiene mayor importancia, ya que la reducción de la diversidad biológica en una plantación de eucaliptos es un efecto asumido.

Las sustancias alelopáticas no tienen un efecto de largo plazo en el suelo. Una vez removidos los eucaliptos, la



acumulación de aleloquímicos comienza a disminuir, por descomposición y por lixiviación hacia horizontes inferiores del suelo. El tiempo necesario para eliminar el efecto alelopático dependerá esencialmente de la precipitación. En áreas con alta precipitación la acumulación de sustancias disminuirá rápidamente, en cambio en zonas áridas y semiáridas el efecto puede durar un par de años después de la desaparición de los árboles. En algunos casos la presencia de sustancias alelopáticas desaparece después de un año y el suelo presenta mejores condiciones para el cultivo (Sanginga and Swift, 1992; Espinosa-García *et al.*, 2008).

Consideraciones finales

El establecimiento de plantaciones forestales en suelos desnudos y especialmente en suelos degradados permite su recuperación. La presencia de los árboles frena los procesos erosivos e incentiva una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que permiten la recuperación del suelo.

La acidificación es un proceso natural, lento, propio de los suelos cubiertos con bosques. Todas las especies pueden acidificar los suelos, aun cuando las coníferas generan mayor acidificación que las latifoliadas. En caso de producirse una excesiva baja en el pH se afecta la capacidad del suelo para suministrar una serie de nutrientes, con el consiguiente impacto sobre la vegetación; sin embargo, el problema es de fácil solución. La aplicación de cal en pequeñas cantidades puede resolver el problema por décadas. Es importante monitorear los cambios de pH del suelo para tomar medidas oportunas de rectificación, evitando efectos negativos en la productividad a largo plazo.

Las influencias alelopáticas son sumamente complejas y pueden involucrar la interacción de múltiples factores, tales como diferentes tipos de compuestos químicos, diferentes especies, diferentes condiciones fisiológicas y ambientales, tipos de suelo, disponibilidad de nutrientes y agua. La alelopatía se presenta en múltiples especies y puede tener importantes efectos en ecosistemas naturales. Cuando se trata de árboles plantados, una vez que éstos se cortan, los compuestos alelopáticos



El establecimiento de
plantaciones forestales
en suelos desnudos y
degradados permite su
recuperación.

desaparecen del suelo, más o menos rápido dependiendo de la precipitación, sin afectar de manera permanente las condiciones del suelo. En plantaciones forestales este fenómeno no tiene mayor relevancia.

Referencias

- Bakker M.R., R. Keresit, K. Verbist, C. Nys, A. Stokes. 1999.** Effects of liming on rhizosphere chemistry and growth of fine roots and of shoots of sessile oak (*Quercus petraea*). 1st International Conference Devoted to the Structural Roots of Trees and Woody Plants. *Plants and Soils* 217: 243-255.
- Binkley, D. 1995.** The influence of tree species on forest soils: Processes and Patterns. In: Mead, D.J. and Cornforth, I.S. Eds. Proceedings of the Trees and Soil Workshop, Lincoln University, 28 February – 2 March 1994. Agronomy Society of New Zealand. Special Publication N° 10. Lincoln University Press, Canterbury.
- Binkley, D. and D. Valentine. 1991.** Fifty-year biogeochemical effects of green ash, white pine, and Norway spruce in a replicated experiment. *Forest Ecology and Management* 40, 13 - 25.
- Binkley D., and C. Giardina. 1998.** Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42: 89 -106.
- CONAF, 1998.** Evaluación de los resultados de la aplicación del D.L. 701 de 1974. Ministerio de Agricultura. Corporación Nacional Forestal. Oficina de Estudios y Planificación. Santiago, marzo 1998.pp. 140.
- Derome, J. 1990/91.** Effects of forest liming on the nutrient status of podzolic soils in Finland. *Water, Air and Soil Pollution* 54: 337-350.
- Espinosa-García, F.J., E. Martínez-Hernández and A. Quiroz-Flores. 2008.** Allelopathic potential of *Eucalyptus* spp. plantations on early growth of annual crops. *Allelopathy Journal* 21 (1): 25-37.
- Ferguson, J.J., B. Rathinasabapathi and C.A. Chase. 2013.** Allelopathy: how plants suppress other plants. University of Florida. IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- Fikreyesus, S., Z. Kebebew, A. Nebiyu, N. Zeleke and S. Bogale. 2011.** Allelopathic effects of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. on germination and growth of tomato. *American-Eurasian Journal of Agriculture & Environmental Sciences* 11 (5): 600-608.
- Finzi, A., C.D. Canham and N. van Breemen. 1998.** Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Ecological Applications*, 8(2), 1998, pp.447-454.
- Formánek, P., V. Vranová. 2002.** A contribution to the effect of liming on forest soils: review of literature. *Journal of Forest Science*, 48, 2002 (4): 182-190.
- Fundación Chile. 2011.** Cropcheck Chile: Manual de Recomendaciones Cultivo de Maíz Grano. Maíz Check. Santiago, Diciembre 2011.43 p.
- Gill, A.M. 1997.** Eucalypts and fires: interdependent or independent? In: J. Williams and J. Voinorski (eds.) *Eucalypt Ecology: Individuals to Ecosystems*. Cambridge University Press. 1997. 441 p.
- Imatomi, M., P. Novaes, S.C. J. Gualteiri. 2013.** Interest-specific variation in the allelopathic potential of the family Myrtaceae. *Acta Botanica Brasilica*, vol. 27 No. 1.
- Johnson, D.W., M.S. Cresser, S.I. Nilsson, J. Turner, B. Ulrich, D. Binkley and D.W. Cole. 1991.** Soils changes in forest ecosystems: evidence for and probable causes. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 97B, 81-116.
- Johnson, D.W., W.T. Swank and J.M. Vpse. 1995.** *Journal of Environmental Quality*. Vol. 24.: 1104-1117.
- Kruse, M. M. Strandberg, B. Strandberg. 2000.** Ecological effects of allelopathic plants- a review. National Environmental Research Institute, Silkeborg, Denmark. NERI Technical Report, No. 135.66 pp.

- Matzner, E. and K.J. Meiwes. 1990/91.** Effects of liming and fertilization on the soil solution chemistry in north German forest ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution* 54: 377-389.
- May, F.E. and J.E. Ash. 1990.** An assessment of the allelopathic potential of *Eucalyptus*. *Australian Journal of Botany* 38 (3): 245-254.
- Persson, H. and K. Ahlström. 1990/91.** The effects of forest liming on fertilization on fine-root growth. *Water, Air and Soil Pollution* 54:365-375.
- Rassaeifar, M., N.Hosseini, N.H. Asl, P. Zandi, M. Aghdam. 2013.** Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* essential oil on seed germination and seedling establishment of *Amaranthus blitoides* and *Cynodon dactylon*. *Trakia Journal of Sciences*. No 1, pp.73-81.
- Reigosa, M.J. and L. González. 2006.** Forest ecosystems and allelopathy. In: M. Reigosa, N. Pedrol and L. González (eds.) *Allelopathy: A physiological process with ecological implications*. 451-463. Springer, 2006.
- Sanginga, N. and M.J. Swift. 1992.** Nutritional effects of *Eucalyptus* litter on the growth of maize (*Zea mays*). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 41:55-65.
- Schoenholtz, S.H., H. Van Miegroet, J.A. Burger. 2000.** A review of chemical and physical properties as indicators of soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management* 139 (2000): 335-356.
- Williston, H.L., and R. LaFayette. 1978.** Species Suitability and pH of Soils in Southern Forests. USDA Forest Service. Southeastern Area, State and Private Forestry. *Forest Management Bulletin*. 4 pp.
- Zhang, C. S. Fu. 2009.** Allelopathic effects of *eucalyptus* and the establishment of mixed stands of *eucalyptus* and native species. *Forest Ecology and Management* 258 (2009) 1391-1396.
- Zhang, C. S. Fu. 2010.** Allelopathic effect of leaf litter and live root exudates of *Eucalyptus* species on crops. *Allelopathy Journal* 26(1): 91-100.
- Zhang, D., J. Zhang, W. Yang. 2010.** Potential allelopathic effect of *Eucalyptus grandis* across a range of plantation ages. *Ecol. Res.* (2010)25: 13-23.



08 **FORESTALES** y Captura de Carbono

Mucho se habla de los múltiples beneficios que producen los bosques además de la madera. Sus efectos en la cantidad y calidad del agua, en los suelos, en la diversidad biológica son por lo general bastante bien entendidos por la mayoría de la gente. Sin embargo su efecto en la mitigación del cambio climático no es tan conocido. ¿Qué es el secuestro o captura de carbono? ¿Por qué los bosques son tan importantes desde el punto de vista de la mitigación del cambio climático y por qué se han constituido en el foco de atención de las discusiones en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático?

Para una mejor comprensión del tema, conviene hacer una breve descripción de lo que se conoce por efecto invernadero y como está afectando el clima del planeta.

El efecto invernadero es un fenómeno que existe naturalmente. Es una cubierta de gases, la atmósfera, que protege la tierra, impidiendo que entren los rayos solares en toda su intensidad. Esto permite la vida en el planeta.

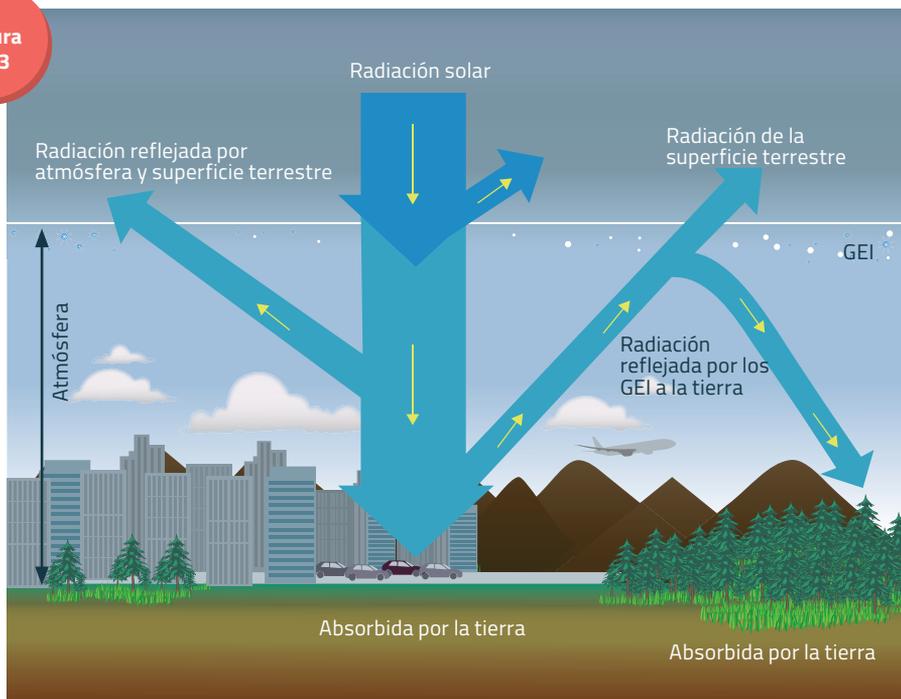
Lo que está sucediendo hoy es que esta cubierta natural se ha ido engrosando debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidas por el uso de combustibles fósiles, principalmente petróleo y carbón, por los incendios forestales, la deforestación, la fertilización nitrogenada, entre otras fuentes de emisión, alterando los procesos naturales. Uno de los principales gases de efecto invernadero es el CO₂.

El efecto de los bosques en la mitigación del cambio climático, a pesar de su importancia, no es muy conocido por la mayoría de la gente.

La figura N°3 muestra el proceso de manera muy simplificada. Como parte del proceso normal, la energía solar entra a la tierra y una parte importante de la misma vuelve a salir al espacio, ya que es reflejada por la atmósfera o irradiada por la superficie terrestre. Lo que hace la acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) es impedir que toda esta energía salga del sistema y devuelve una parte a la tierra, generando un aumento de la temperatura, lo que altera una serie de procesos naturales dando origen al denominado "calentamiento global", que produce una serie

Esquema del Efecto Invernadero

Figura N°3



de alteraciones en el clima, de donde surge el concepto de "cambio climático".

Como consecuencia de este fenómeno, el calentamiento del sistema climático es inequívoco y muchos de los cambios observados desde 1950 no tienen precedentes en décadas, siglos e incluso milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, la nieve y los hielos han disminuido, el nivel del mar ha subido y la concentración de gases de efecto invernadero sigue aumentando. La concentración de dióxido de carbono (CO_2) ha aumentado en un 40% desde la era preindustrial, debido principalmente a las emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles y por el cambio neto de uso de los suelos (IPCC, 2013).

En el cambio neto de uso de los suelos es donde entran los bosques, ya que su eliminación para habilitar tierras para la agricultura, la ganadería y el desarrollo urbano, entre otros

usos, ha generado una enorme cantidad de emisiones y lo más importante, ha reducido enormemente la capacidad natural del planeta de mantener un nivel adecuado de gases de efecto invernadero.

¿Cómo actúan los bosques? Las plantas tienen la capacidad, a través del proceso llamado fotosíntesis, de transformar la energía generada por la luz solar en energía química y son capaces de sintetizar sustancias orgánicas a partir de elementos inorgánicos. Las plantas sintetizan hidratos de carbono a partir de agua (H_2O) y dióxido de carbono (CO_2) y como resultado del proceso se libera oxígeno (O_2). Por lo tanto, en este proceso los árboles capturan el CO_2 de la atmósfera, se libera el oxígeno y el carbono queda almacenado en todos los componentes de la planta y en el suelo. En este proceso, el CO_2 , que es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI) ha sido removido de la atmósfera.

Los bosques nativos en estado de clímax, es decir en un estado de madurez en el que se ha alcanzado un equilibrio dinámico entre los organismos y el medio ambiente, no producen una captura neta de carbono, ya que la que se produce al realizar la fotosíntesis se equipara con las emisiones generadas por la descomposición de la biomasa muerta, incluyendo madera, ramas, hojas y raíces. En Chile, para los efectos del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) todos los bosques nativos adultos se consideran en estado climácico y sólo los renovales (bosques de segundo crecimiento) tienen capacidad de captura de CO₂, pero también se establece un límite, que es cuando alcanzan los 80 años de edad o un diámetro cuadrático medio de 50 cm¹.

Las plantaciones, en cambio, son capturadoras netas, ya que se trata de árboles jóvenes que están siempre creciendo, acumulando carbono en su biomasa, debido al manejo intensivo al que se someten. Cuando el crecimiento comienza a declinar, los árboles son cosechados y reemplazados por nuevos árboles, por lo tanto, el camino más directo a la fijación de carbono es la plantación de árboles. Sin embargo, la efectividad de la captura de carbono a través de las plantaciones puede variar considerablemente, dependiendo de factores tales como la calidad del sitio, las especies y principalmente, las prácticas de manejo empleadas. Las plantaciones industriales capturan carbono como todas las demás, sin embargo su aporte a la mitigación del cambio climático se ve interrumpido al momento de la cosecha, ya que el carbono contenido en la biomasa cosechada se considera, para los efectos del inventario de gases de efecto invernadero, como carbono emitido².

En el mundo existen extensas áreas de suelos sub-utilizados, degradados, que no generan beneficios ni tienen valor como sumideros de carbono, que pueden ser convertidos a través de la forestación o reforestación en sumideros netos, produciendo además una serie de beneficios adicionales como recuperación del suelo, de la diversidad



Los bosques son capaces de acumular enormes cantidades de carbono en la biomasa sobre el suelo, en sus raíces, en el material muerto y en el suelo.

biológica y el paisaje y la regulación del ciclo del agua, entre otros beneficios. Van Minnen *et al.* (2008) estiman que las plantaciones forestales, a nivel global, tienen un potencial de captura de carbono de 913 Pg³, que se podría alcanzar hacia el año 2100. Esto equivale al 52% de las emisiones de CO₂ proyectadas para ese año de los sectores energía e industria, también a nivel mundial.

1/ Las guías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) sugieren un límite de 20 años para que un bosque después de una alteración o intervención alcance nuevamente el estado de equilibrio y, por lo tanto, logre un balance en términos de captura y emisión. Sin embargo permite a los países fijar sus propios límites de acuerdo a las características de cada bosque. Chile ha establecido este límite en 80 años o cuando los bosques alcanzan un diámetro cuadrático medio de 50 cm.

2/La realidad es que el CO₂ vuelve a la atmósfera sólo en los casos en que el bosque se elimina completamente para dar paso a otros usos de la tierra, por ejemplo agricultura, y la biomasa se quema. Si el bosque se tala para producir madera, el carbono permanece almacenado hasta que esa madera se descompone o se quema. Lo que asume la Convención es que hay un balance igual a cero en los productos de madera. Hay madera que está almacenando carbono, por ejemplo en una casa, pero también hay madera que está siendo quemada o que se está descomponiendo y por lo tanto emitiendo. Como es muy difícil monitorear todos estos cambios se asume que el balance es cero. En todo caso, los países miembros de la CMNUCC están buscando un mecanismo que permita una mejor contabilidad del carbono contenido en los productos forestales.

*3/Pg: Petagramo, 10 **15 gramos = 1 Gt = mil millones de toneladas.*

Los bosques en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)

Desde el punto de vista de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) hay tres elementos que son fundamentales para comprender cómo funciona el sistema. El elemento básico en este proceso es el hecho de que las plantas toman el CO₂ de la atmósfera y a través de la fotosíntesis lo transforman en azúcares y otros compuestos orgánicos que permiten el crecimiento de los árboles. Así, el carbono (C) contenido en el CO₂ queda almacenado en la madera, hojas, corteza y raíces de los árboles y el oxígeno (O₂) se libera a la atmósfera.

Aun cuando los distintos tejidos tienen diferentes concentraciones de carbono, en general contienen del orden de un 45% a un 50%. En términos muy simples, prácticamente el 50% de la biomasa contenida en los bosques proviene directamente de uno de los gases con efecto invernadero más abundantes en la atmósfera, el CO₂. El segundo elemento importante desde el punto de vista de la CMNUCC es que el CO₂ es un gas que circula libremente en la atmósfera y por lo tanto los esfuerzos para removerlo serán efectivos aun cuando se realicen lejos de la fuente que los emite. Es por esto que es posible hacer transacciones, por ejemplo, entre un emisor de GEI que está en Europa y un forestador que captura CO₂ por medio de una plantación en Chile. El tercer elemento a tener en cuenta es que cuando los árboles mueren y se descomponen, el carbono vuelve a la atmósfera en forma de CO₂, metano y otros gases de efecto invernadero o se incorpora al suelo, como materia orgánica. Asimismo, cuando se corta un bosque, el carbono es removido del sitio.

Para efectos de la CMNUCC cuando se corta un bosque se asume que el CO₂ contenido en la biomasa es emitido en forma inmediata a la atmósfera. Es por esto que la enorme tasa de deforestación anual, que alcanza a casi 12 millones de hectáreas por año (FAO, 2010), es una de las principales fuentes de emisión de gases con efecto invernadero a nivel global.

El Protocolo de Kioto, en uno de sus mecanismos destinados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el denominado Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), considera la forestación y reforestación como las opciones



Algunas organizaciones no gubernamentales reconocen la importancia de las plantaciones para una efectiva mitigación del cambio climático.



Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques (REDD+)

La deforestación y degradación de los bosques aporta cerca de un 30% de las emisiones de GEI a nivel global, por lo que ha pasado a ser uno de los temas centrales de la CMNUCC. En la 16ª Conferencia de las Partes de la Convención (COP 16) realizada en Cancún (2011) se aprobó REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los Bosques)⁴ como mecanismo de mitigación a ser aplicado en los países en desarrollo, a través de la generación de políticas e incentivos para reducir las emisiones producidas por la deforestación y degradación de los bosques, promoviendo, al mismo tiempo, la conservación y manejo sostenible de los bosques y el aumento de las reservas de carbono a través de la forestación y la reforestación. Los países desarrollados compensarán, a través de los mecanismos definidos por la Convención a los países en desarrollo que demuestren resultados positivos en la mantención del carbono en sus bosques. Recientemente, en la conferencia de las partes de la CMNUCC realizada en Varsovia (2013) se concluyeron las negociaciones sobre los procedimientos que permitirán a los países en desarrollo recibir pagos por resultados verificados de reducción de emisiones por conservación y manejo sostenible de sus bosques y por el establecimiento de nuevos bosques a través de forestación y reforestación. Este conjunto de decisiones se ha denominado “El Marco de Varsovia para REDD+”.

más efectivas para la mitigación del cambio climático. Los proyectos MDL tienen como objetivo no sólo capturar carbono, sino que también generar desarrollo sustentable en los países en desarrollo. La idea es que el carbono capturado por las plantaciones se comercialice en forma de bonos y los países desarrollados los compren para compensar sus emisiones y cumplir los compromisos contraídos a través del Protocolo de Kioto.

Durante el primer período de este protocolo, que terminó en 2012, los proyectos de forestación y reforestación como parte del MDL fueron bastante escasos. El problema es que el mecanismo de aprobación es complicado y burocrático y lo más importante, es que no ha sido posible llegar a un acuerdo para resolver el problema de no-permanencia del carbono almacenado en las plantaciones. ¿Qué sucede

si un incendio arrasa el bosque y el carbono almacenado vuelve como CO₂ a la atmósfera? ¿Quién le responde al poseedor de los créditos de carbono? Como ésto no está claro, los certificados son temporales (tCERs y ICERs⁵) ya que tienen el riesgo de perderse por razones naturales o por intervención humana, lo cual se ve reflejado en el bajo precio que han logrado hasta el momento. Para que los certificados alcancen un buen precio en el mercado, será necesario definir los mecanismos que permitan que éstos sean permanentes.

Factores que inciden en la capacidad de captura de C de una plantación

Los bosques y los suelos forestales son los principales sumideros terrestres del carbono atmosférico y más de la

4/ El “+” que se agrega a REDD representa la posibilidad de incrementar las reservas de carbono a través de plantaciones forestales y del manejo sostenible de los bosques.

5/ tCERs: Temporary Certified Emissions Reductions; ICERs: long-term Certified Emissions Reductions.

mitad del C acumulado en los ecosistemas forestales se encuentra en los horizontes superiores del suelo mineral (Powers *et al.*, 2012).

Desde el punto de vista de la capacidad de captura, sin duda que las más eficientes son las plantaciones de una especie, los monocultivos. Son fáciles de establecer y de manejar. Por otro lado, pueden presentar algunas desventajas, como se ha discutido en el Capítulo 4, incluyendo una mayor susceptibilidad al fuego y a las plagas y enfermedades.

La selección de especies tiene implicancias directas en el potencial de captura de carbono de una plantación. Las de rápido crecimiento acumulan más biomasa y en consecuencia más carbono que las de crecimiento lento en un período determinado. Sin embargo, al seleccionar las especies hay que tener presente que las que crecen más lento producen madera de mayor densidad y por lo tanto con mayor contenido de carbono. La edad de rotación definirá el tiempo que el carbono estará acumulado en los árboles en pie. También en relación a las especies, se considera que las coníferas tienen mayor capacidad de acumulación de carbono que las latifoliadas, debido a procesos más lentos en la descomposición de la materia orgánica. Mediciones de la capacidad de fotosíntesis de muchas especies de *Eucalyptus*, en un amplio rango de condiciones, confirman que éstas tienen altas tasas de captura de carbono, muy por encima de otras latifoliadas (Whitehead and Beadle, 2004). En condiciones naturales esta capacidad no siempre se expresa debido a limitaciones de agua y nutrientes, pero se puede manifestar en una plantación bien manejada.

El carbono en el suelo mineral bajo las plantaciones tiende a aumentar en el caso de las latifoliadas, en cambio tiende a disminuir en los primeros años en bosques de coníferas. Por lo tanto el carbono en el suelo aumenta bajo plantaciones de eucaliptos y disminuye bajo plantaciones de pino. Esto, aparentemente, depende de los patrones de enraizamiento y de la velocidad de renovación de las raíces finas, que sería mayor en los bosques de eucaliptos. (Paul *et al.*, 2002)



Plantación de Eucalyptus grandis en Sudáfrica. Los Eucalyptus tienen altas tasas de captura de carbono, muy por encima de otras especies latifoliadas.



Otro factor que incide en la acumulación de carbono, tanto en la biomasa como en el suelo, es el manejo que se aplica a la plantación. El largo de la rotación, el régimen de raleos, las técnicas de cosecha, son elementos que afectan el contenido de carbono en la biomasa y en el suelo. Los raleos maximizan el crecimiento de algunos árboles, pero por lo general en desmedro del volumen total, afectando la acumulación total de carbono; también generan cambios en el microclima bajo el bosque ya que el aumento en la temperatura tiende a incrementar la descomposición de la materia orgánica y en consecuencia, la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera. A mayor intensidad de raleo, mayor será la disminución en los stocks de carbono en el piso del bosque, aunque la incorporación de los residuos del raleo al suelo puede compensar estas pérdidas. Existe poca evidencia experimental sobre efecto de los raleos en el contenido

El largo de la rotación, el régimen de raleos y las técnicas de cosecha afectan el contenido de carbono en la biomasa y en el suelo.

de carbono en el suelo mineral. Lo que sí se reconoce es que aumentan la estabilidad del rodal, aportando un importante mecanismo de control para la mantención del stock de C en el ecosistema (Jandl *et al.*, 2007).

Obviamente que la cosecha es la que produce la mayor alteración en términos de contenido de carbono en la plantación, ya que no sólo remueve la biomasa que almacena el carbono sino que altera las condiciones del suelo y cambia drásticamente el microclima, por lo que en los años siguientes a la cosecha, aunque se reforeste, la pérdida de carbono en el suelo puede incluso ser mayor que la acumulación de C en la biomasa de la nueva plantación. Al igual que en el caso del raleo, la incorporación de los desechos de la cosecha al suelo puede compensar, en gran parte, las pérdidas originadas por las alteraciones producidas en el suelo. De todas maneras, este efecto negativo es temporal y el C se recupera tanto en la biomasa como en el suelo, en la medida que el bosque crece.

El largo de la rotación tiene efectos en ambos sentidos. Rotaciones largas permiten mayor acumulación total de C en la biomasa y en el suelo, pero por otra parte se reduce la capacidad de captura. Los bosques jóvenes, con un incremento anual corriente (IAC) mayor, tienen más capacidad de captura.

Las rotaciones largas tienen otro inconveniente desde el punto de vista del balance global de emisiones y captura de carbono. El hecho de que la madera permanezca en el bosque no contribuye a la sustitución de materiales con una alta huella de carbono. Por esto es necesario hacer un adecuado balance para ver cuándo conviene mantener un bosque en pie por más largo tiempo y cuándo una rotación corta o mediana es más eficiente desde este punto de vista.

Otro tipo de alteraciones como los incendios forestales, las tormentas de viento, las sequías y las plagas y enfermedades pueden causar enormes pérdidas de carbono, especialmente en la biomasa. El impacto del fuego en el carbono del suelo no es tan claro, ya que lo elimina en el piso del bosque, pero puede aumentarlo en el suelo mineral (Paul *et al.*, 2002; Jandl *et al.*, 2007).

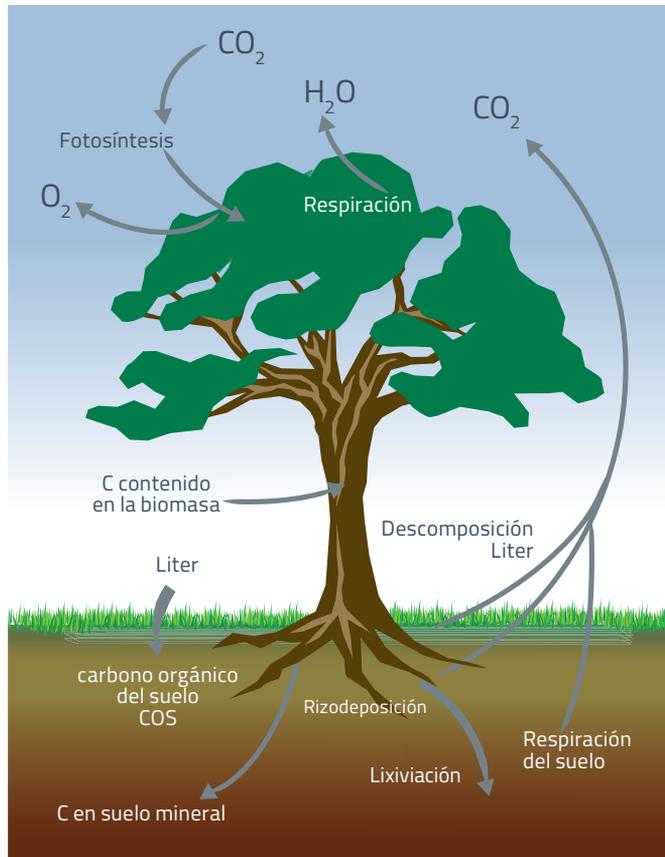
Las plantaciones forestales y la acumulación de C en el suelo

Los bosques no sólo almacenan carbono en su biomasa, sino que también en el suelo. Considerando la enorme superficie cubierta de bosques a nivel mundial, los suelos forestales juegan un importante papel en el ciclo global de este elemento. Se estima que cerca de dos tercios del carbono almacenado en ecosistemas forestales está en el suelo.

El contenido de C en el suelo está determinado por el balance entre el ingreso de éste a través de la descomposición del liter y el que se libera hacia el suelo desde los compuestos orgánicos a través de las raíces, proceso denominado rizodeposición, por una parte, y por la liberación de carbono en los procesos de descomposición de la materia orgánica y pérdida por lixiviación, por la otra. El movimiento del carbono en el suelo depende de la condición de los compuestos (lábil versus estable)⁶, las condiciones de sitio, especialmente el clima y las

Figura N°4

Esquema Simplificado de la Captura de Carbono y su Ciclo en la Biomasa y el Suelo



⁶Carbono lábil es aquel contenido en la materia orgánica, formando parte de estructuras simples que pueden ser fácilmente degradadas por microorganismos, generando emisiones de CO_2 . El carbono estable, en cambio, forma parte del suelo mineral y no es emitido a la atmósfera.



propiedades del suelo, incluyendo la textura, el pH, la disponibilidad de agua y el contenido de nutrientes. La micro y la meso fauna juegan un rol fundamental en la acumulación de carbono en el suelo (Jandl *et al.*, 2007; Powers *et al.*, 2012).

Las condiciones que dificultan los procesos microbianos en el suelo como las texturas gruesas, una baja disponibilidad de nutrientes y un pH bajo, pueden generar un proceso de acumulación de materia orgánica sobre el suelo, lo que favorece la acumulación de carbono en el liter, pero dificulta su incorporación en el suelo mineral. En climas mediterráneos con largos períodos secos, la incorporación del carbono al suelo ocurre principalmente a través de las raíces finas y en menor medida por la descomposición del liter acumulado en la superficie (Powers *et al.*, 2012).

El establecimiento de plantaciones en suelos degradados tiene un tremendo impacto en términos de captura, generando además una serie de beneficios adicionales, entre los que se pueden destacar la mejoría en la calidad del suelo y el agua; disminución de la erosión y pérdida de nutrientes desde el suelo; aumento de la diversidad biológica; el incremento en la disponibilidad de nutrientes y en consecuencia, en la productividad del suelo. Por lo tanto, la captura de carbono a través de los árboles incrementa los servicios ecosistémicos al mismo tiempo que aumenta la productividad.

Factores que inciden en el carbono contenido en el suelo de una plantación

La preparación del suelo para la plantación es por lo general considerada como una de las causas de la disminución del carbono en el suelo después de una plantación. Una preparación con un alto nivel de alteración (discado, subsolado) puede generar una reducción temporal en el contenido de carbono en el suelo, puesto que se provoca un rápido proceso de mineralización del carbono contenido en la materia orgánica, sin que esta pérdida sea contrarrestada por los incipientes aportes de materia orgánica que hace una plantación recién establecida (Jandl *et al.* 2007, Paul *et al.* 2002). También es posible que, producto de la plantación, el incremento de C en la parte superior del suelo se vea contrarrestado por una

El establecer plantaciones en suelos degradados tiene un tremendo impacto en términos de captura de carbono, generando además una serie de beneficios adicionales.

pérdida temporal en sectores más profundos del suelo (Bashkin and Binkley, 1998; Jandl *et al.*, 2007).

El uso del suelo previo a la plantación es importante en términos del potencial de captura de carbono de una plantación. Los suelos cubiertos con praderas tienen un alto contenido de carbono en los horizontes superiores, por lo que la forestación tiene un menor efecto en términos de acumulación, e incluso puede producirse una pérdida en los primeros años. Paul *et al.* (2002) reportan una pérdida de 0,28% al año en los 30 cm superiores del suelo en plantaciones establecidas en praderas; en cambio, se produce un incremento de 1,88% anual cuando la plantación se ha realizado sobre un suelo que se empleaba para cosechas anuales. En general, la forestación en terrenos que se han empleado con fines agrícolas o en áreas que no cuentan con una cubierta permanente de vegetación aumenta el contenido de carbono en el suelo hasta que se logra un equilibrio en el balance antes descrito. La mayoría de los estudios coincide en una disminución del carbono en el suelo después de la forestación para luego iniciar un proceso de acumulación que logra un contenido en los primeros 30 cm del suelo, superior al que tenía el suelo en su estado previo bajo un cultivo agrícola (Lal,

2005; Lal, 2008). Turner y Lambert (2000) encontraron importantes pérdidas de carbono en los horizontes más profundos después de la plantación de *Pinus radiata* en sitios que tenían bosque nativo de eucaliptos, mientras que otros autores reportan aumentos en su contenido bajo plantaciones de pinos y eucaliptos en suelos que antes fueron usados en agricultura (Johnson *et al.* 2011; Paul *et al.*, 2002).

La fertilización también puede afectar positivamente la acumulación de carbono en el suelo, la que sería proporcional al efecto que tiene el fertilizante sobre la tasa de crecimiento de la plantación. En algunos casos la fertilización puede ser una condición necesaria para mantener la acumulación de carbono en el suelo. Asimismo, la plantación combinada con especies fijadoras de nitrógeno en el sotobosque puede acelerar la tasa de acumulación de carbono en el suelo (Paul *et al.* 2002).

Otro aspecto importante es el clima, ya que el establecimiento de una plantación forestal en climas tropicales y subtropicales por lo general incrementa el contenido de carbono en el suelo y por el contrario, se genera una ligera pérdida inicial en los horizontes superiores del suelo en climas mediterráneos. Sin embargo, en el largo plazo, los suelos de zonas frías tienen una mayor capacidad de almacenar carbono que los de zonas tropicales o subtropicales. También se observa una mayor acumulación de carbono en la medida que aumenta la precipitación. En suelos con alta disponibilidad de humedad, las tasas de descomposición de la materia orgánica están directamente relacionadas con las temperaturas, lo cual explica el bajo contenido de carbono en los suelos tropicales y el positivo efecto de las plantaciones en términos de acumulación (Paul *et al.*, 2002).

La textura también puede condicionar la dinámica del carbono en el suelo. Por lo general, en suelos arcillosos se genera mayor acumulación que en suelos de texturas gruesas (Paul *et al.*, 2002).

Dependiendo de las especies, entre el 70 y el 80% de la acumulación de carbono se produce en la biomasa viva y el resto se reparte entre el liter y el suelo mineral.

Dependiendo de las especies, entre el 70 y el 80% de la acumulación de carbono se produce en la biomasa viva y el resto se reparte entre el liter y el suelo mineral (Richter *et al.*, 1999). Una serie de estudios realizados en Europa señala que el suelo puede contribuir con aproximadamente un 30% del secuestro total de carbono en un ecosistema forestado (Jandl *et al.*, 2007).

Paul *et al.* (2002) analizaron una serie de estudios y encontraron que el cambio en el contenido de carbono en los primeros 30 cm del suelo después de la forestación es de 14,1 gr/m²/año en promedio, lo cual es bastante limitado si se le compara con la acumulación en la biomasa. Sin embargo cuando se analiza la acumulación de carbono a nivel regional o nacional, estos cambios debidos a la forestación resultan significativos, y por lo tanto deben ser incluidos en las evaluaciones de captura y emisión de carbono. Aun cuando se encuentran resultados muy variables y a veces contradictorios respecto de la acumulación de carbono después de la forestación, lo que es concluyente es que después de los 20 años se constata una importante acumulación de carbono en el piso del bosque y en el suelo mineral bajo las plantaciones (Richter *et al.*, 1999; Johnson *et al.* 2011).



Aporte de las plantaciones forestales a la captura de C en Chile

En Chile, tanto los bosques nativos como los plantados juegan un rol fundamental para contrarrestar las emisiones de gases con efecto invernadero de los otros sectores de la economía. El gráfico N° 11 presenta las emisiones y capturas de los cinco sectores de mayor incidencia en la emisión de GEI en Chile. El sector Cambio de uso de la tierra y silvicultura (CUTS) es el único que captura CO₂, neutralizando las emisiones de los sectores Procesos Industriales, Agricultura y Residuos antrópicos.

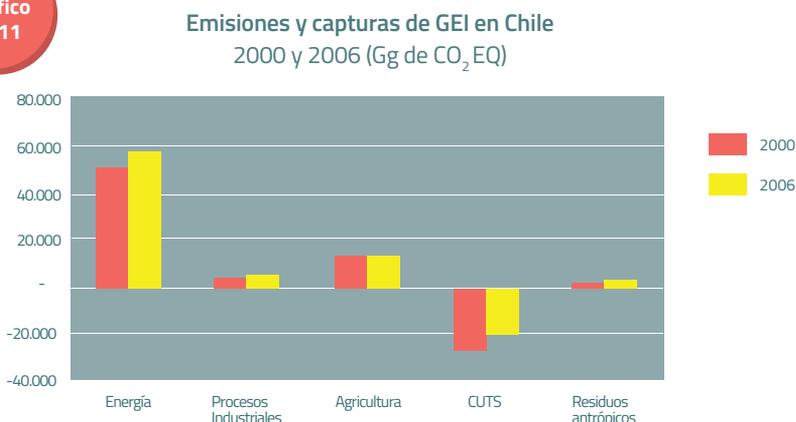
En el año 2000 las capturas del sector alcanzaron a 85.225 Gg⁷ CO₂eq⁸, para llegar a 93.229 Gg en el 2006. Por otra parte, en el mismo período las emisiones del sector aumentaron desde 57.778 a 73.843 Gg CO₂eq, por lo que las capturas netas alcanzaron a 27.446 y 19.386 Gg en el 2000 y 2006, respectivamente (Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, 2011).

De acuerdo al último inventario de gases de efecto invernadero realizado por el Ministerio de Agricultura en

2013⁹, el aporte del sector CUTS es aún mayor, ya que se ha incluido el carbono contenido en la biomasa forestal que aportan las raíces, el que habría llegado en 2010 a cerca de 40.000 Gg de CO₂ eq de captura neta. Dentro del sector CUTS, las plantaciones han ido disminuyendo en importancia, ya que la tasa de forestación ha bajado considerablemente. En el pasado reciente (1980-2005) cuando la forestación estaba en su apogeo, la contribución de las plantaciones a la captura neta de C era muy importante; hoy, en cambio, las capturas se han ido igualando con las emisiones generadas por la cosecha. A pesar de esto, el sector CUTS sigue siendo un capturador neto de importancia, pero no debido a las plantaciones, sino que al bosque nativo, representado por los bosques de segundo crecimiento (renovales).

Considerando el compromiso contraído por Chile ante la CMNUCC de reducir las emisiones de GEI en un 20% al año 2020, es muy importante que continúe el incentivo a las plantaciones forestales. Los datos de la segunda Comunicación indican una tendencia decreciente en las capturas netas del sector CUTS. La manera más efectiva de cambiar esta tendencia es el establecimiento de plantaciones forestales en suelos que no cuentan con una cubierta vegetal permanente.

Gráfico N° 11



Fuente: Segunda Comunicación Nacional de Chile ante la CMNUCC. 2011.

7/ 1 gigagramo = 1000 toneladas.

8/ 1CO₂ equivalente: significa que pueden haber otros gases de efecto invernadero, por ejemplo metano, pero sus efectos se expresan en términos de CO₂. Por ejemplo una unidad de metano equivale a 25 unidades de CO₂.

9/ El documento aún no ha sido publicado.

Aporte del D.L. 701 a la captura de Carbono

La bonificación de las plantaciones forestales a través del mecanismo establecido por el D.L. 701 no sólo ha permitido generar una enorme cantidad de materia prima para la industria forestal, sino que también ha producido una serie de co-beneficios, entre los que se destaca la captura de carbono.

Laroze y Gilabert (2008) estimaron el aporte de las plantaciones bonificadas a la captura de carbono, determinando que las plantaciones bonificadas entre 1975 y 2005 alcanzaron a 1.253.699 hectáreas, de las cuales un 76,6% corresponde a pino radiata y un 23,4% a eucaliptos. Esta superficie fue ajustada para descontar aquellas plantaciones que habían sido establecidas en terrenos que estaban cubiertos por bosque nativo, con lo que la superficie incluida en el estudio se redujo a 815.399 ha de pino y 260.237 ha de eucaliptos.

De acuerdo a este estudio las plantaciones bonificadas almacenaban aproximadamente 33.270 Gg de C, de las cuales el 84,4% corresponde a plantaciones de pino radiata. Esto equivale a cerca de 122.000 Gg de CO₂.

El mismo estudio hace una proyección hasta el 2010, cuando el carbono acumulado alcanzaría a 44.500 Gg, equivalente a 163.000 Gg de CO₂, lo que, a precios de mercado de la época, equivalía a un monto de US\$ 2.934 millones. Ésta es sólo una cifra indicativa de lo que aporta el D.L. 701 en términos de mitigación al cambio climático, ya que las plantaciones bonificadas por esta ley no son elegibles en los mecanismos establecidos por el Protocolo de Kioto.

Consideraciones finales

Uno de los mayores beneficios ambientales que se puede obtener de las plantaciones forestales es su contribución a la mitigación del cambio climático a través de la captura de carbono. Los árboles capturan el CO₂ de la atmósfera y lo almacenan en la biomasa. Aproximadamente el 50% de la biomasa es carbono.

Las plantaciones forestales por su gran velocidad de crecimiento son captadoras netas. Los bosques nativos, en cambio, son grandes reservorios de carbono, pero se

considera que su captura es cercana a cero, ya que también generan importantes emisiones.

El manejo de las plantaciones considerando una serie de factores tales como preparación de sitio, la selección de especies, el manejo del fuego y la fertilización, es clave para optimizar la captura de carbono. Las plantaciones cosechadas pueden ser una fuente importante de emisiones, pero gran parte del carbono sigue almacenado por años en los productos forestales.

Referencias

- Bashkin M.A., D. Binkley. 1998.** Changes in soil carbon following afforestation in Hawaii. *Ecology* 79:828-33.
- FAO, 2010.** Global Forest Resources Assessment 2010. Main Report. FAO Forestry Paper 163. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2010.
- IPCC, 2013:** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jandl R., M. Lindner, L. Vesterdal, B. Bauwens, R. Baritz, F. Hagedorn, D. W. Johnson, K. Minkkinen, K. A. Byrne (2007)** How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? *Geoderma* 137 (2007). 253-268.
- Johnson, D.W., J. Murphy, B.M. Rau, and W.W. Miller. 2011.** Subsurface carbon contents: some case studies in forest soils. *Forest Science* 57(1):3-10.
- Lal, R. 2005.** Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220 (2005): 242 – 258.
- Lal, R. 2008.** Carbon sequestration. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 2008. February 27: 363(1492):915-830.
- Lawson, K., K. Burns, K. Low, E. Heyhoe and H. Ahammad. 2008.** Analysing the economic potential of forestry for carbon sequestration under alternative carbon price paths. Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics. Canberra.
- Laroze, A. y H. Gilabert. 2008.** Estimación del Carbono capturado en las plantaciones de pino radiata y eucaliptos relacionadas con el DL-701 de 1974. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, ODEPA. Documento interno. 16 pp.
- Moura-Costa, P. 1996.** Tropical forestry practices for carbon sequestration. In: Dipterocarp forest ecosystems – Towards sustainable management. Schulte A. & Schöne, D. (Eds.) World Scientific, Singapore, 1996, pp.308-334.
- Paul, K.I., P.J. Polglase, J.G. Nyakuengama, P.K. Khanna. 2002.** Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168 (2002) 241 – 257.
- Powers, R.F., D. Busse, K. McFarlane, J. Zhang and D. Young. 2012.** Long-term effects of silviculture on soil carbon storage: does vegetation control make a difference? *Forestry* 2012; 0, 1-12.
- Richter D. D., D. Markewitz, S.E. Trumbore & C. G. Wells. 1999.** Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. *Nature* 400, 56-58.
- Turner, J. and M. Lambert. 2000.** Change in organic carbon in forest plantation soil in eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 133: 231-247.
- Van Minnen, J., B. Strengers, B. Eickhout; R. Swart and R. Leemans. 2008.** Quantifying the effectiveness of climate change mitigation through forest plantations and carbon sequestration with an integrated land-use model. *Carbon Balance and Management* 2008, 3:3.
- Whitehead, C. and C. L. Beadle 2004.** Physiological regulation of productivity and water use in *Eucalyptus*: a review. *Forest Ecology and Management*, Vol. 193 Issue 1-2, 17 May 2004, pp. 113–140.



09

Mantenimiento de la Productividad. La Base de un Negocio

SUSTENTABLE

La productividad de una plantación se define como la producción neta de biomasa en un área determinada por unidad de tiempo. Normalmente se expresa en m^3 por hectárea por año. La productividad depende de las condiciones del suelo, clima, especie, material genético empleado, presencia de plagas y enfermedades y una serie de aspectos silviculturales asociados al establecimiento y posterior manejo del bosque plantado. Cualquiera de estos factores puede convertirse en una limitación al crecimiento de los árboles y en la práctica basta que uno de ellos sea adverso para que la productividad se vea afectada negativamente. Prácticas silviculturales como preparación del sitio antes de plantar, uso de plantas genéticamente mejoradas, control de la vegetación competitiva, manejo de la densidad del rodal y fertilización son algunas de las herramientas que tiene el silvicultor para lograr el máximo de productividad de un sitio determinado.

Uno de los argumentos más recurridos para atacar las plantaciones forestales es afirmar que éstas tienen una productividad decreciente en el tiempo, debido a que el rápido crecimiento de los árboles terminaría por agotar las reservas de nutrientes del suelo. Dado que esta modalidad de producir madera se aparta bastante de la silvicultura tradicional¹ ya que genera alteraciones frecuentes y severas, es comprensible que mucha gente ponga en duda su sostenibilidad, sin embargo hay evidencias científicas que demuestran que con un manejo adecuado es posible lograr esta condición.

En Chile este tema no ha sido lo suficientemente estudiado, pero existe bastante información de estudios realizados en otros países en plantaciones de *Pinus radiata*, *Eucalyptus* y otras especies.

La productividad depende de una serie de factores, entre ellos el suelo, clima, la especie, y los tratamientos silviculturales.

^{1/} La silvicultura tradicional, por ejemplo la silvicultura europea, no emplea cortas a tala rasa en grandes superficies como se hace en el manejo de las plantaciones de rápido crecimiento.

Mantenimiento de la productividad en plantaciones. Algunos casos emblemáticos

El caso más evidente de disminución de la productividad en plantaciones de pino radiata (*Pinus radiata*) se registró en Australia. Las primeras plantaciones establecidas con éxito en los suelos arenosos de South Australia en los años 20 fueron cosechadas y replantadas en los 50. Los estudios comparativos realizados por Keeves (1966) reflejaron una caída en el crecimiento de entre un 30 a un 60% en relación a la primera rotación, lo cual sembró profundas dudas no sólo en Australia, sino que en varios países sobre la conveniencia de establecer monocultivos de pino, ya que parecía confirmarse la vieja teoría surgida en Europa en los años 20, que afirmaba que rotaciones sucesivas de monocultivos de coníferas causaban un daño irreversible en las condiciones del sitio.

Esta idea surgió de importantes disminuciones en los rendimientos de plantaciones después de la segunda o tercera rotación, especialmente en plantaciones de *Picea abies* en Alemania (Wiedemann, 1923, en Evans 1999). Hoy está claro que esto sucedió debido a que se plantó *Picea* en sitios inadecuados. Actualmente, la misma especie, en Sajonia y Thuringia, crece más vigorosamente que en las plantaciones de hace 50 ó 100 años atrás (Evans, 2009). Estudios más recientes, también en Europa, señalan un mejor crecimiento en las segundas o terceras rotaciones (van Goor, 1985; Eriksson and Johansson, 1993; Cannel *et al.*, 1998, Evans, 2009), con excepción de las plantaciones de *Pinus pinaster* en las Landas atlánticas, aun cuando esta caída no se atribuye a un deterioro en las condiciones de sitio.

A raíz de la publicación de Keeves se comenzó a estudiar el tema en diversos países. En Nueva Zelanda, Whyte (1973) registró una disminución temporal en los crecimientos de la segunda rotación de *Pinus radiata*, al igual que Robinson (1973) quien detectó menores crecimientos en *Pinus patula* en Suazilandia.

Dada la relevancia del tema desde el punto de vista ambiental y especialmente desde el económico, debido a que en la mayoría de los países ya existía una enorme capacidad instalada para la producción de pulpa, madera aserrada y tableros en base a plantaciones, el tema recibió mucha atención de parte de las organizaciones de investigación y empresas forestales. Los datos de Keeves (1966) ponían en duda la sostenibilidad de inversiones millonarias. Si los suelos arenosos de Australia no fueron capaces de sustentar la segunda rotación, otros suelos por fértiles que fuesen, ¿podrían sostener la productividad más allá de la segunda o tercera rotación?

La respuesta a esta interrogante tardó algunos años en llegar. Squire *et al.* (1985) trabajando en los mismos bosques de *P. radiata* donde Keeves encontró la pérdida de productividad, pudieron demostrar que gran parte del problema se debía a la eliminación de los desechos después de la cosecha. De mantenerse estos desechos, incorporándolos al suelo, la segunda rotación no sólo no bajaba su rendimiento, sino que por el contrario, lo incrementaba. Smethurst y Nambiar (1990), comprobaron que la quema de residuos de cosecha facilitaba la invasión de malezas, disminuía la disponibilidad de agua y reducía considerablemente la disponibilidad de nitrógeno, lo cual se traducía en una caída en la productividad en relación a la primera rotación.

La incorporación de los desechos de la cosecha al suelo es fundamental para mantener la productividad en el largo plazo.



Factores que permiten mantener o incrementar la productividad en el largo plazo

El cuadro siguiente presenta algunos factores que pueden incidir en la productividad de las plantaciones, indicando el tiempo que dura el efecto y la ganancia que puede obtenerse al fin de la rotación (Adaptada de Mead, 2013).

Cuadro
N°7

| Tratamiento | Ganancia | Período | Costo relativo |
|---|--------------|--------------------------|----------------|
| Tratamientos que generan respuestas de largo plazo | | | |
| Eliminación de plagas | > 75% | 1 rotación | Muy bajo |
| Mejoramiento genético | 10 a 40 % | 1-3 rotaciones; continuo | Muy alto |
| Corrección deficiencias suelo (Ej. Fertilización con P) | Hasta > 75 % | 1 rotación | Medio -alto |
| Tratamiento al suelo (subsulado u otros) | Hasta > 75 % | 1 rotación | Medio- alto |
| Tratamientos que generan respuestas de corto plazo | | | |
| Calidad de planta y plantación | <10 % | 1 rotación | Medio |
| Mayor densidad de plantación | 10 a 25 % | Hasta 1 rotación | Medio |
| Control de malezas | 10 a 25 % | Hasta 1 rotación | Medio |
| Integración de los desechos al suelo | 10 a 25 % | 1 rotación | Alto |
| Fertilización al plantar (Ej. Fertilización con N) | < 10 % | > 1/3 rotación | Bajo - medio |
| Fertilización después de raleo | 10 a 25 % | 4 a 5 años | Alto |

Estudios más recientes que analizaron 3 rotaciones consecutivas de *P. radiata* en los suelos arenosos de Australia del Sur confirmaron que realmente se produjo una disminución en los rendimientos y llegan a conclusiones muy claras en cuanto a las causas de la pérdida de productividad. Las malas prácticas silviculturales empleadas en el pasado fueron las responsables de la acelerada pérdida de materia orgánica y de nutrientes, generando una baja en la productividad. También concluyeron que en las condiciones de manejo actuales, plantaciones en tercera rotación en una serie de cla-

ses de sitio están creciendo a tasas sustancialmente mayores que en rotaciones anteriores. Los resultados indican que después de casi 100 años de cultivo de pino, la productividad se ha incrementado en casi un 70% del área plantada en tercera rotación. Las razones para ello son el empleo de prácticas de manejo adecuadas, especialmente en el manejo de los desechos, que se han incorporado al suelo, y el uso de plantas genéticamente mejoradas (O'Heir y Nambiar, 2010). La evolución del volumen comercial entre la primera y tercera rotación se presenta en el cuadro N°8.

Volumen comercial en tres rotaciones sucesivas de 37 años
Pinus radiata en Penola Forest, Australia. (O'Heir y Nambiar, 2010)

Cuadro
 N°8

| N° Parcela | 1ª R (m³/ha.) | 2ª R (m³/ha.) | 3ª R (m³/ha.) | Ganancia 3ª -2ª R (%) |
|------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| 38 | 824 | 416 | 1003 | 141 |
| 39 | 824 | 332 | 959 | 189 |
| 40 | 1022 | 769 | 1209 | 57 |
| 42 | 1003 | 332 | 1086 | 227 |
| 43 | 1041 | 668 | 1086 | 63 |
| 44 | 959 | 583 | 1255 | 115 |

La caída en rendimiento en la segunda rotación alcanza en algunos casos a cerca de un 70% (parcela 42). Hasta hoy día no se han encontrado evidencias concluyentes en cuanto a las razones de esta disminución, pero es probable que se haya debido a una combinación de factores. Uno de ellos son las variables climáticas, que en general fueron poco favorables durante la segunda rotación; la competencia de vegetación invasora pudo ser de gran relevancia, especialmente si se trataba de un sitio con limitaciones de agua y nutrientes; pero la causa principal se encuentra en el manejo realizado en la preparación del sitio para la segunda rotación, en particular el uso del fuego para eliminar los desechos de la cosecha (O'Heir and Nambiar, 2010). La cantidad de desechos de una primera rotación con árboles de mala forma, sin mejoramiento genético

fue extremadamente alta, dando origen a fuegos de gran intensidad que generaron enormes pérdidas de materia orgánica y nutrientes. La pérdida de N pudo variar entre 570 y 930 kg/ha, sin considerar las potenciales pérdidas debido a un incremento en la mineralización y lixiviación. A esto hay que agregar pérdidas de P, K, Ca, y Mg. El manejo de los desechos de la cosecha puede tener un efecto particularmente negativo sobre las reservas de fósforo (P) (Flinn *et al.* 1979; Carlyle and Nambiar, 2001). Un adecuado manejo de los desechos entre rotaciones, favoreciendo la conservación de los recursos presentes en el sitio, el control de la competencia y una fertilización temprana permitió revertir completamente la situación y la tercera rotación mostró incrementos de hasta un 227% en relación a la segunda.

La quema de la biomasa que queda en el sitio después de la cosecha puede tener un fuerte impacto en la productividad de las siguientes rotaciones ya que genera una importante pérdida de nutrientes que es difícil recuperar, aun con la aplicación de fertilizantes.





E.K.S. Nambiar prácticamente ha dedicado su vida a estudiar este tema, no sólo en Australia sino que en diversas partes del mundo y es concluyente en señalar que la productividad claramente depende de los factores que inciden en la disponibilidad de agua en el suelo, por lo tanto las prácticas de manejo que fallan en el tratamiento de la relación agua - nutrientes no permitirán un incremento en la productividad o, lo que es peor, pueden generar una disminución en el crecimiento.

Estudios más recientes en plantaciones de *Pinus radiata* en segunda o tercera rotación confirman que un manejo adecuado resuelve el problema de la caída en la productividad. Long (1997) reporta incrementos de un 18% en volumen en la segunda rotación respecto a la primera.

El tema de la pérdida de productividad de los suelos no sólo se relaciona al *Pinus radiata*; ha sido motivo de estudio en diversas partes del mundo y con variadas especies.

En el sur de los Estados Unidos se encontraron numerosas evidencias de pérdida de la productividad en rotaciones sucesivas, lo que generó un sinnúmero de investigaciones destinadas a dar una respuesta científica al tema. Los inventarios forestales realizados en el Estado de Georgia, en los 80, mostraban una declinación progresiva en el crecimiento en diámetro de plantaciones de *Pinus elliotii*,

pero los estudios de Sheffield and Cost (1986) lograron probar que estas disminuciones están estrictamente relacionadas a plantaciones no industriales, donde los tratamientos silvícolas eran deficientes. En plantaciones manejadas en forma intensiva las tasas de crecimiento eran estables o habían aumentado.

Powers (1999) basado en un estudio que realizó en Louisiana, sugiere que la disminución en la productividad en la segunda rotación puede deberse a los tratamientos realizados para incrementar la productividad en la primera rotación, puesto que el uso de maquinaria pesada en la preparación del suelo puede afectar negativamente sus condiciones, aumentando la compactación a niveles que dificultan el crecimiento de los árboles en una segunda rotación, lo que es particularmente grave en suelos arcillosos. El uso de grandes discos genera compactación lateral continua, por lo que en varios países ya no se emplea este tratamiento de preparación de suelo en plantaciones.

Fox (2000) analiza una serie de ensayos de *P. elliotii*, que justamente se establecieron en los 80 en respuesta a la preocupación que generaron los inventarios de la época, destinados a monitorear la productividad en rotaciones sucesivas, empleando, por un lado, las mismas técnicas y material genético de la primera rotación y por otro, técnicas de manejo intensivo. A los 11 años, el rendimiento promedio de 16 localidades fue ligeramente inferior al de la primera rotación. En otras palabras, en el promedio se confirmaba la caída en la productividad que reflejaban los datos de los inventarios. Sin embargo, en estos casos no se puede trabajar con promedios, sino que es necesario analizar caso a caso para obtener resultados valederos. El análisis detallado de los mismos 16 lugares genera un resultado completamente distinto, ya que sale a la luz la explicación del resultado general. Bajo condiciones constantes, es decir, sin cambiar las condiciones de la primera rotación, se generan importantes caídas en la productividad que afectan los números generales, pero en todos los casos en que se aplicaron técnicas de manejo intensivo, incluyendo fertilización y control de la competencia, el incremento de la productividad fue importante, con un alza en el índice de sitio desde 20 a 25 m. Este estudio

Estudios en plantaciones de pino radiata en segunda o tercera rotación confirman que un manejo adecuado resuelve el problema de la caída en la productividad.

comprueba la importancia de una silvicultura adecuada si se quiere mantener la productividad en el largo plazo.

Plantaciones de teca (*Tectona grandis*) en la India muestran una clara tendencia a la baja en rotaciones sucesivas. La colecta de materia orgánica, incluidas las hojas para ser usadas como combustible es común, lo mismo que el cultivo agrícola entre los árboles. Estas condiciones de manejo, en que el sistema está permanentemente sometido a la extracción de toda la biomasa, que al incorporarse podría mantener el contenido de nutrientes en el suelo, generan una pérdida evidente en la calidad del sitio.

Algo similar sucede en China en plantaciones de *Cunninghamia lanceolata*², en donde se han encontrado pérdidas de volumen de 10 a 30% entre la primera y segunda rotación y de hasta un 40% entre la segunda y la tercera rotación. La razón más evidente para ello es que se cosecha el árbol completo, en muchos casos incluyendo las raíces y se queman los desechos restantes. La cosecha favorece la invasión de bambú que compite fuertemente con la nueva plantación (Evans, 1999). Claramente no se trata de un problema generado por el monocultivo de esta especie, sino que por malas prácticas de manejo.

Agus *et al.* (2004) señalan que el efecto de la cosecha en la pérdida de nutrientes es más pronunciado en regiones tropicales que en climas templados. Plantaciones de *Gmelina arborea* en Kalimantan (Indonesia) presentan una disminución en la productividad en la segunda rotación debido al desbalance generado por la excesiva pérdida de N y P asociada a la cosecha del árbol completo, incluyendo ramas. Si se emplea este sistema, la mantención de la productividad en el largo plazo dependerá necesariamente de la adición de fertilizantes o de la combinación con leguminosas en el sotobosque, que en las condiciones descritas por estos autores pueden aportar hasta 60 k N ha/año.

En Suazilandia, en África del Sur, Evans (2005) analizó el crecimiento en altura de la segunda, tercera y cuarta rotación de *Pinus patula* creciendo exactamente en el mismo lugar. A la edad de 6 años, las alturas medias fueron de 8,03; 8,14 y 8,61 m, respectivamente, indicando que cada rotación sucesiva es igual o ligeramente mejor que la anterior. En el mismo bosque encontró algunas parcelas

sobre suelos deficitarios en fósforo en las cuales se había producido una disminución entre la primera y segunda rotación, la que se estabilizó en las siguientes. Según Evans este caso de *Pinus patula* es relevante, ya que se trata de plantaciones extensas (más de 60.000 hectáreas) que se han reforestado con un mejoramiento genético mínimo y con prácticas silviculturales muy básicas. Se trata de monocultivos cosechados a tala rasa que no han mostrado cambios significativos en su productividad hasta la cuarta rotación. Sobre estos mismos bosques, Menne y Carrere (2007) contradicen lo expresado por Evans, señalando que él sólo estudió "la productividad a largo plazo" pero no la sustentabilidad, y descalifican el estudio ya que, según ellos, el autor, si bien lo menciona, no deja en claro que en la tercera rotación se emplearon plantas genéticamente mejoradas y mejores prácticas silviculturales. Sin proponérselo, Menne y Carrere confirman que la productividad puede ser mantenida o incrementada de una rotación a la siguiente si se emplea el conocimiento y la tecnología disponible para lograr un mayor crecimiento de los árboles, en este caso, mejoramiento genético y prácticas silviculturales adecuadas.

En Sudáfrica existen numerosos estudios sobre mantención de la productividad en plantaciones de eucaliptos. Los resultados no difieren de los ya analizados. Las pérdidas de nutrientes y la sostenibilidad en el largo plazo son totalmente dependientes del manejo. Importantes pérdidas de nutrientes se generan por la cosecha y recogida de leña (N, K, y Ca); por la quema de desechos (especialmente N) y por lixiviación (Ca y Mg). Sin embargo las investigaciones concluyen que basta un régimen de manejo "moderadamente intensivo" para mantener la productividad en el largo plazo, aunque advierten que es importante tener claro que existe pérdida de nutrientes y que la ocurrida en rotaciones sucesivas sólo podrá ser recuperada naturalmente en siglos. Por lo tanto la producción sostenible en el largo plazo necesariamente requiere reposición de los nutrientes exportados por la cosecha y otras prácticas (Du Toit y Scholes, 2002; Du Toit, 2003).

La pérdida de nutrientes puede remediarse con la aplicación de fertilizantes, especialmente cuando se trata de una deficiencia simple. Sin embargo el uso de estos productos presenta limitaciones, ya que la absorción de nutrientes

²/ En China existen aproximadamente 6 millones de hectáreas plantadas con esta especie.



puede ser un proceso bastante ineficiente cuando se trata de especies forestales. White (1974) reporta una recuperación de sólo un 25% del nitrógeno aplicado en una plantación de *Pinus elliottii* en Florida, Estados Unidos. Baker *et al.* (1974) indican que la recuperación de N en ensayos de fertilización de especies de *Pinus* va de un 3% a un 24% del fertilizante aplicado. Mead (2013) da un rango de 5 a 20%. Por lo tanto, la clave de la sostenibilidad a largo plazo está en la conservación de los nutrientes en el sitio, eliminando, en la medida de lo posible, todas las prácticas que resulten en pérdidas innecesarias.

De esta breve revisión bibliográfica se concluye que las técnicas de establecimiento y muy especialmente las operaciones que se realizan entre una rotación y la siguiente, incluyendo la cosecha, tratamiento de los residuos, preparación del suelo para la siguiente plantación, el control de la competencia y una fertilización temprana que permita a la planta una rápida “toma de posesión” del sitio, tienen un gran impacto potencial en la productividad de la siguiente rotación y en la sostenibilidad del sistema a largo plazo, especialmente cuando se trata de plantaciones de rápido crecimiento. En la mayoría de los países donde se establecen plantaciones de rápido crecimiento con alta incorporación de tecnología, se ha demostrado que la mantención de la productividad en rotaciones sucesivas depende de la implementación de actividades silviculturales que favorezcan un rápido desarrollo inicial de los árboles, permitiéndoles un uso eficiente de los nutrientes y el agua disponibles. Entre estas actividades se cuentan: una cosecha con bajos

impactos, reduciendo al máximo la pérdida de suelo; un adecuado tratamiento de los residuos, evitando la quema y en lo posible, incorporándolos al suelo; una preparación del suelo acorde con las condiciones del sitio y realizada en el momento adecuado³; fertilización al establecimiento y muy especialmente, control de la competencia de



La mantención de los desechos de explotación es fundamental para la sostenibilidad de las plantaciones. Su eliminación (derecha) puede ser la causa de la pérdida de productividad en rotaciones sucesivas.

^{3/} La preparación del suelo debe hacerse cuando está seco. Por ejemplo, el subsolado realizado con el suelo húmedo tiene escaso efecto e incluso puede tener impactos negativos en suelos con alto contenido de arcilla.

malezas o arbustos. Se entiende también que la calidad de las plantas debe ser óptima.

Es muy importante tener presente que prácticas de manejo inadecuadas que pueden realizarse en cosa de horas, como por ejemplo, la quema de desechos, pueden afectar la calidad de un sitio por mucho tiempo y que la recuperación de su productividad puede tomar décadas y tener un alto costo, afectando considerablemente la rentabilidad de las plantaciones.

Los árboles no degradan el suelo, cualquiera sea la especie. Las malas prácticas silviculturales sí.

Mantención de la productividad de las plantaciones en Chile

En Chile, aun cuando no se habían evidenciado caídas en los rendimientos entre la primera y la segunda rotación, el Instituto Forestal inició una serie de investigaciones destinadas a estimar las pérdidas de nutrientes después de la explotación, considerando que las prácticas que se estaban empleando eran justamente las que, de acuerdo a los estudios previamente analizados, conducían a una pérdida de la productividad en el largo plazo. Kunz *et al.* (1985) estimaron las pérdidas de nutrientes que se generaban debido a la cosecha y quema de los desechos después de la explotación. En el cuadro N°9 se presenta

la extracción de nutrientes desde el sitio, con un sistema de explotación tradicional (en 1984), incluyendo la quema de desechos.

El porcentaje de pérdida de nitrógeno alcanza al 72% de aquel contenido en la biomasa y la hojarasca. Cuando el fuego es de gran intensidad también puede perderse N de los horizontes superficiales del suelo. Otra fuente de pérdida de nutrientes después de la quema es el transporte de la ceniza por el agua o por el viento, lo cual no está evaluado en este estudio. El uso del fuego también tiene impacto sobre la materia orgánica del suelo, lo que afecta sus condiciones físicas, especialmente su capacidad de retención de agua. Estas cifras explican por qué, especialmente en sitios pobres, es fácil que se produzca un agotamiento del suelo después de la primera o segunda rotación, generando una caída en la productividad. Los resultados de este estudio dieron una voz de alarma, llevando a las empresas a investigar este tema con mayor profundidad. Pocos años después se eliminaron las quemadas post-cosecha y los desechos de explotación se comenzaron a integrar al suelo.

En Chile, si bien no se han hecho estudios específicos para comparar la productividad en rotaciones sucesivas, existe importante información de parcelas permanentes mantenidas por las empresas socias del Proyecto Modelo Nacional de Simulación de la Universidad de Concepción, que en algunos casos llegan hasta la tercera rotación.

Cuadro N°9

Extracción de nutrientes desde un sitio plantado con *Pinus radiata* debido a la cosecha y posterior quema de los desechos de explotación, después de una rotación de 26 años.

(VIII Región, Chile) (Kunz *et al.*, 1985)

| Componente | Biomasa (t/ha) Peso seco | Extracción de nutrientes (kg/ha) | | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | | N | P | Q | Ca |
| Fuste | 238,4 | 105,4 | 16,9 | 137,8 | 121,4 |
| Corteza | 20,1 | 42,1 | 4,6 | 56,2 | 30,3 |
| Ramas | 4,0 | 5,3 | 0,4 | 2,2 | 2,5 |
| Ramillas s/a | 13,9 | 49,8 | 4,0 | 20,8 | 10,3 |
| Acículas | 10,7 | 108,9 | 5,8 | 22,2 | 13,1 |
| Conos | 3,4 | 5,0 | 0,5 | 0,5 | 0,1 |
| Mat. Muerto | 14,8 | 17,1 | 0,6 | 2,1 | 9,4 |
| Hojarasca | 19,9 | 50,8 | 2,0 | 6,9 | 29,4 |
| Total | 325,2 | 384,4 | 34,8 | 248,7 | 216,5 |
| Pérdida (%) | | 72 | 27 | 21 | 31 |



En los gráficos N°12,13 y 14 se muestra el crecimiento promedio de *Pinus radiata* en la primera y segunda rotación, obtenido de parcelas permanentes medidas de acuerdo a protocolos de investigación bien establecidos. También se incluye información sobre la tercera rotación,

pero está basada en un número limitado de ensayos y parcelas experimentales (Roland Peters, Com. Pers., 2013).

Los datos, tanto de área basal como de volumen total, muestran una caída temporal en las tasas de crecimiento

Gráfico N°12

Comparación de crecimiento de *Pinus radiata* en rotaciones sucesivas (Área basal por hectárea, m²)



Gráfico N°13

Comparación de crecimiento de *Pinus radiata* en rotaciones sucesivas (Altura dominante, m)



Gráfico N°14

Comparación de crecimiento de *Pinus radiata* en rotaciones sucesivas (Volumen, m³/ha)



en la segunda rotación. En el caso del volumen, a los 24 años es cuando se produce la mayor diferencia, ya que en promedio, es un 17,5% menor que en la primera rotación. Lo interesante es que en bosques de mayor edad, el volumen de la segunda rotación supera al de la primera. Esta disminución en el crecimiento sin duda que se debe al impacto de la cosecha y al hecho de que al momento de establecerse la segunda rotación aún se utilizaban prácticas tales como el apilado y quema de desechos, que como se ha discutido, tiene un fuerte impacto negativo en la acumulación de materia orgánica y en la disponibilidad de agua y nutrientes, lo que afecta el crecimiento, especialmente en los primeros años. El efecto puede prolongarse durante toda la rotación, dependiendo de las condiciones de sitio.

No es fácil explicar el mayor crecimiento experimentado por el bosque en segunda rotación a partir de los 25 años de edad. Una posible explicación es que las condiciones de suelo y clima permitan una paulatina recuperación de los daños causados por las prácticas de cosecha y preparación del sitio para el establecimiento de la segunda rotación. La acumulación de liti y la incorporación de materia orgánica en el suelo mejoran sus condiciones de fertilidad y de acumulación de agua, lo que permitiría expresar tardíamente la potencialidad de un bosque establecido con árboles genéticamente mejorados y con un adecuado manejo silvícola. En el caso de la altura de los árboles dominantes, prácticamente no hay diferencias entre ambas rotaciones. Es importante señalar que las tendencias de la primera rotación están basadas en más de 25.000 observaciones y las de la segunda rotación en cerca de 15.000 datos parcela/medición (R. Peters, Com. Pers., 2013).

Los gráficos incluyen información de la tercera rotación. Los datos que generan esta tendencia de crecimiento son bastante escasos (sólo 38 observaciones), pero dan una indicación de lo que está sucediendo en sitios en los cuales se ha cultivado pino radiata por más de 50 años. En los primeros años se estaría produciendo una disminución considerable en comparación con las rotaciones anteriores, a pesar de que estos árboles probablemente se establecieron empleando buenas técnicas de preparación de suelo y plantación y se trata de árboles con mejoramiento genético bastante avanzado. Lo interesante es que después de los 10 años estas plantaciones comenzarían a crecer a

una tasa superior, llegando a superar, en el caso del área basal, a las rotaciones anteriores. Dado que esta tendencia está basada en muy pocas observaciones, no es posible elaborar demasiado sobre lo que está sucediendo en la tercera rotación, pero de todas maneras la tendencia a una disminución en el crecimiento inicial resulta preocupante. Afortunadamente los crecimientos en área basal y volumen se recuperan después de los 10 años. Es muy probable que esta disminución inicial se deba a prácticas inadecuadas durante las faenas de cosecha y preparación del sitio. Es importante señalar que este análisis es muy básico, y que emplea datos promedio. Sería muy interesante hacer un análisis estadísticamente robusto con los datos disponibles.

La utilización de cada vez mayor cantidad de biomasa en la cosecha, que en algunos casos incluye las ramas que se coleccionan para la generación de energía, pone en riesgo la mantención de la productividad en el largo plazo. Aun cuando la cosecha intensiva de biomasa no alcanza a los niveles de pérdida de nutrientes que genera el apilado y quema de los desechos, que también afecta la biomasa muerta sobre el suelo, de todas maneras impone una demanda sobre el sitio que es muy difícil de satisfacer en el largo plazo. Como ya se mencionó, no es tan fácil recuperar un adecuado nivel de nutrientes en el suelo agregando fertilizantes. Hay limitaciones biológicas, económicas y ambientales.

Los gráficos N° 15 a 17 presentan una comparación del crecimiento de eucaliptos en rotaciones sucesivas. Al igual que en el caso anterior, los datos corresponden a tendencias generales obtenidas de parcelas permanentes establecidas por las mismas empresas socias del Proyecto Modelo Nacional de Simulación, por lo tanto no permiten generalizar, ya que existen importantes variaciones dependiendo de las condiciones de suelo, clima, especies, material genético empleado y prácticas silviculturales. En total son 5.000 datos de primera rotación y 2.000 de segunda.

Los datos corresponden a parcelas de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*, considerados de manera conjunta. Obviamente que no es la manera ideal de comparar dos rotaciones, dado que distintas especies responden de diferente manera, pero al menos da una idea general. Es posible, sin embargo, que al separar las dos especies, *E. globulus* presente una disminución, ya que la segunda rotación



Gráfico
N°15

Comparación crecimiento *Eucalyptus spp.* en rotaciones sucesivas
(Área basal por hectárea, m²)

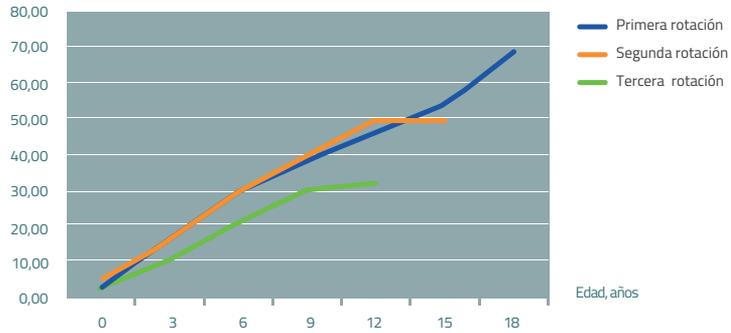


Gráfico
N°16

Comparación crecimiento *Eucalyptus spp.* en rotaciones sucesivas
(Altura dominante, m)

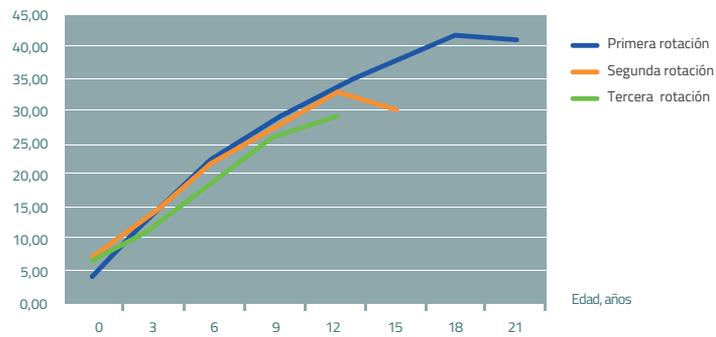
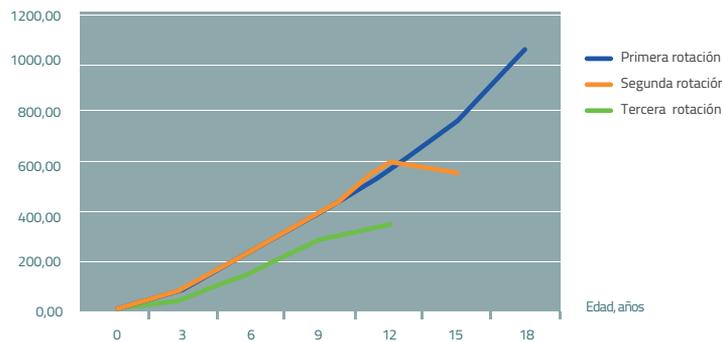


Gráfico
N°17

Comparación crecimiento *Eucalyptus spp.* en rotaciones sucesivas
(Volumen, m³ / ha)



La utilización de la biomasa que queda después de la cosecha para la producción de energía puede tener un considerable impacto en la productividad del sitio.



se encuentra enmascarada por el mayor crecimiento que presenta *E. nitens*, que se ha plantado en mayor proporción, en relación a la primera rotación.

En este caso, al menos hasta los 12 años no se verifica una caída en la productividad de la segunda rotación. La caída en la productividad a partir del año 12 no es fácil de explicar, ya que es muy abrupta como para pensar que se trata de problemas de fertilidad. Es más probable que se deba a problemas generados por menor disponibilidad de agua. Si uno analiza los datos de precipitación media anual, por ejemplo en las regiones del Biobío y Los Ríos, donde se encuentra la mayoría de estas plantaciones, en los últimos 10 años se ha producido una disminución considerable, del orden de 300 mm en Biobío y 500 mm en Los Ríos, lo que podría explicar la caída en las tasas de crecimiento.

La tendencia de la tercera rotación está basada en sólo 101 datos, contra los casi 5.000 y 2.000 de la primera y segunda, respectivamente, lo cual no permite hacer un análisis muy robusto, pero sin duda que la tendencia que muestran estas pocas parcelas es para dar una voz de alarma. Las causas de esta reducción de la productividad pueden ser variadas. Una razón probable de esta baja puede ser la reducción de las precipitaciones, como se vio en el punto anterior, pero también puede estar relacionada a prácticas silviculturales inadecuadas. Aun cuando la base de datos es muy reducida para sacar cualquier tipo de conclusiones, es importante comenzar a analizar

las posibles causas de esta pérdida de productividad lo antes posible y no cuando termine la rotación.

Consideraciones finales

La mantención de la productividad es clave para la sustentabilidad del negocio forestal en el largo plazo. Las grandes empresas forestales basan su negocio en un abastecimiento no decreciente de materia prima, lo que lleva a pensar que la mantención de la productividad de las plantaciones debe ser una de sus preocupaciones fundamentales. Por diversas razones y principalmente por desconocimiento de las consecuencias de ciertas prácticas tradicionales, esto no ha sido exactamente así. Las actividades de cosecha y la preparación del sitio para la rotación siguiente generaban importantes pérdidas en las reservas nutricionales del suelo. En los últimos años se ha producido un cambio importante en los sistemas de manejo, favoreciendo la conservación del suelo y sus nutrientes, sin embargo, nuevas prácticas, esta vez destinadas a aprovechar la biomasa en la generación de energía, ponen otra vez en duda la mantención de la productividad en el largo plazo. No cabe duda que la utilización de la biomasa en la producción de energía es una alternativa de uso interesante, ya que se trata de producción "limpia" desde el punto de vista de las emisiones de carbono, pero es importante tener presente que el costo de producción va más allá de recoger, transportar y quemar la biomasa; el costo más importante radica en que se está hipotecando las futuras producciones de madera.



Los bosques y los monjes camaldulenses

Un ejemplo de sustentabilidad

Hace ya más de mil años, en 1012, un pequeño grupo de monjes de la orden benedictina se instaló silenciosamente en la zona del Casentino, en la región Toscana, dando origen a la Ermita de Camaldoli, alrededor de la cual se gesta la historia de uno de los bosques más famosos de Europa. Quinientos años de silvicultura ininterrumpida dan origen al Código Forestal Camaldulense, que verdaderamente constituye la base de la sustentabilidad forestal, poniendo al bosque en el centro del desarrollo de la historia del paisaje, la cultura y las tradiciones locales. Los monjes benedictinos desarrollaron un sistema en que los campesinos, los pastores, los artesanos, los leñadores y ellos mismos se encontraron con la naturaleza y con el bosque en particular de una forma tal que ha permitido que sus contornos, estructura y características puedan ser conocidos y admirados hasta el día de hoy.

Este bosque de algo más de 1.700 hectáreas era manejado rigurosamente con detallados registros de todas las intervenciones silviculturales que se realizaban. La silvicultura fue evolucionando de acuerdo con los requerimientos del mercado y las necesidades de la población local, lo que en muchos casos generó cambios en los objetivos de manejo de corto y mediano plazo, determinando cambios en la estructura y composición de los bosques, pero sin alterar la visión de largo plazo, enmarcada en la estrecha relación entre el hombre y la naturaleza.

Los recursos forestales de la Ermita eran la base para la subsistencia de los monjes y para sus obras de caridad. Ayudaban a otras congregaciones aportando madera para la construcción o reparación de sus monasterios e iglesias e incluso servían para ayudar a parientes de los monjes que no tenían suficiente dote para casar a sus hijas.

El Código Forestal Camaldulense compilado en 1520, reúne las experiencias de 5 siglos de manejo forestal. Para estos monjes el manejo sostenible de los bosques y del paisaje era considerado como parte esencial, no sólo en el espíritu sino que en la constitución de su congregación, formando parte ineludible de sus deberes cotidianos. El Código señala: "El bosque es un bien inalienable y por lo tanto debe conservarse a cualquier costo, pero no es intocable como si fuese un objeto de museo; el bosque puede estar sujeto a utilización, pero al mismo tiempo se debe garantizar de la manera más absoluta su permanencia y belleza, sin que la utilización le genere daños, ni aunque sean temporales". Este concepto establecido en el siglo XI, es muy cercano al concepto de sostenibilidad, del cual tanto se habla hoy día.



*Plantación de **Abies alba** establecida después de la Primera Guerra Mundial en el bosque Casentino. Los monjes camaldulenses han establecido plantaciones de esta especie en el mismo lugar, desde el siglo XI.*

Uno de los monjes define el bosque de Camaldoli como “un mundo que no es sólo una reserva de árboles y de animales, sino que, dado que es un mundo, es un resultado de vida, de historia, de procesos, de testimonios, de investigación, de fatiga, de lucha y de éxito, de derrotas y de victorias, de soledad y de encuentros que no se reducen a un mero problema técnico y económico.”

Y aquí viene la relación con este libro sobre plantaciones forestales. Para hacer más productivo el bosque y más eficientes las operaciones, los monjes se centraron en una especie, el abeto blanco (*Abies alba*), que era altamente demandado para las grandes construcciones de la época (iglesias, palacios, etc.) y en los astilleros navales. Gran parte de la madera de las basílicas romanas proviene de los bosques camaldulenses, y de aquí surge otro hecho muy interesante: ellos fueron los inventores de la certificación forestal, ya que su madera tenía un sello que identificaba su origen, eximiéndola de impuestos cuando se destinaba a obras de la iglesia católica. Los monjes también mantuvieron algunas áreas con otras especies, especialmente hayas (*Fagus sp.*) y encinas (*Quercus sp.*) El manejo silvícola se basó en el establecimiento de bosques coetáneos y monoespecíficos y en la aplicación de un sistema de tala rasa, al igual que en las plantaciones modernas, con siembra o plantación para regenerar el bosque después de la cosecha. En el resto de Europa, la aplicación de la tala rasa como sistema de cosecha se inició varios siglos más tarde, con el avènement de la industrialización. Los aspectos ambientales también estaban presentes. Estaba prohibido, de acuerdo al Código Forestal, realizar intervenciones a tala rasa a lo largo de los caminos para garantizar un paisaje agradable a quienes visitaban la Ermita de Camaldoli, y en laderas con excesiva pendiente.

Es interesante ver cómo los monjes evolucionaron desde bosques multietáneos de dos o tres especies (*Abies*, *Fagus*, *Quercus*) hacia bosques coetáneos y de una sola especie – la más demandada- con el fin de obtener mayor productividad y facilitar las operaciones. Los bosques se cosechaban cada 90 años. Todo esto estaba basado en una política de optimización de los beneficios. Sólo en algunos casos, para obtener productos especiales (por ejemplo mástiles para veleros) se empleaban métodos silviculturales distintos. Más tarde, en 1458, los monjes se integraron verticalmente y establecieron el primer aserradero accionado por agua, el cual funcionó hasta 1943.

En casi diez siglos, el manejo del bosque no estuvo exento de problemas. Desde un comienzo hubo conflicto con los vecinos, que muchas veces introducían el ganado a las plantaciones de abeto, causando importantes daños en los bosques en proceso de regeneración. Este fue un problema permanente, hasta que en 1851 se dictó una nueva regla, muy estricta, contra quienes introdujeran animales. También hubo casos de ventas de madera que fueron más allá de los cupos de corta establecidos generando reacciones en la administración, con el fin de volver el bosque a una condición regulada. En muchos casos se estableció una prohibición de corta por varios años. También se dio el caso de tala ilegal. La tala ilegal de estos abetos, sin la autorización de la Santa Sede estaba penada con la excomunión. Más tarde (siglo XV) esta regla cambió y la tala ilegal fue castigada con una multa, ya que había mucha gente influyente involucrada en este tipo de acciones ilegales.

El agotamiento del suelo después de sucesivas rotaciones también se convirtió en un problema que los monjes resolvieron con concesiones temporales a agricultores vecinos, para la siembra de trigo, cebada y otros cultivos. Con esto se redujo el



Las plantaciones de Abies alba hoy forman parte la Reserva Natural Biogenética de Camaldoli y se conservan con un propósito netamente ambiental, especialmente para la recreación.

problema de acidificación del suelo, típico de las plantaciones de coníferas que limita la absorción de nutrientes. Después de algunos años de cultivos agrícolas, las tierras quedaron listas para el restablecimiento de los abetos.

En 1866 un decreto suprimió las órdenes religiosas y el Reino de Italia confiscó todos los bienes a los monjes Camaldulenses, con lo que, después de más de 850 años se puso fin a la actividad forestal gestionada por ellos. En 1871 los bosques se declararon Propiedad Intransferible

del Estado. En la actualidad una parte de éstos (698 ha) pertenece a la región Toscana y el resto está bajo la administración del Cuerpo Forestal del Estado. Todo el bosque está incluido en la Reserva Natural Biogenética de Camaldoli.

Las dos guerras mundiales tuvieron un fuerte impacto sobre el bosque Casentino. Durante la primera, gran parte fue talado para satisfacer la gran demanda de madera y leña de la población local y luego para satisfacer la demanda de madera generada por las tareas de reconstrucción. Pasado el conflicto, el bosque de abeto volvió a establecerse. Durante la Segunda Guerra Mundial, el bosque fue bombardeado intensamente, ya que la denominada "Línea Gótica", establecida por los alemanes en el norte de los Apeninos para frenar el avance de las tropas aliadas, pasaba por el medio de las plantaciones. Terminado el conflicto, las tropas aliadas cosecharon las plantaciones y se llevaron la madera como trofeo de guerra. Los ingleses extrajeron 80.000 m³ de madera de abeto de Camaldoli para los trabajos de reconstrucción. La mayoría de las plantaciones actuales fue establecida inmediatamente después de la guerra.

Esta resumida historia resulta sumamente ilustrativa, ya que revela cómo, en base a plantaciones forestales de una sola especie con un adecuado manejo, se puede mantener un negocio rentable por casi 1.000 años. Además, una serie de conceptos modernos se hacen presentes: la mantención de la productividad empleando rotaciones de cultivos; el inventario detallado de la masa forestal; la flexibilidad en el manejo dependiendo de la demanda; la certificación de origen. El bosque de Camaldoli y su manejo no podría estar fuera en un libro sobre plantaciones forestales.

Urbinati y Romano (2012).

Referencias

- Agus, C., O.Karyanto, S.Kita, K. Haibara, H. Toda, S. Hardiwinoto, H. Supriyo, M. Na'iem, W. Wardana, M. Sipayung, K. and S. Wijoyo. (2004)** Sustainable site productivity and nutrient management in a short rotation plantation of *Gmelina arborea* in East Kalimantan, Indonesia. *New Forests* 28:277-285.
- Baker, J.B.; Switzer, G.L. and L.E. Nelson, 1974.** Biomass production and nitrogen recovery after fertilization of young loblolly – pines. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Vol.38: 958- 961.
- Cannel; K.M., R. Boardman; D. Boomsma and P.G. Zed. 1998.** UK conifer forest may be growing faster in response to N deposition, atmospheric CO₂ and temperature. *Forestry* 71: 277-296.
- Carlyle, J.C. and E.K.S. Nambiar, 2001.** Relationships between net nitrogen mineralization, properties of the forest floor and mineral soil and wood production in *Pinus radiata* plantations. *Canadian Journal of Forest Research* 31, 889-898.
- Du Toit, B. 2003.** Effects of the site management operations on the nutrient capital of a eucalypt plantation system in South Africa. *Southern Africa Journal of Forestry* 199, 15 – 25.
- Du Toit, B. y M. Scholes. (2002)** Nutritional sustainability of *Eucalyptus* plantations: A case study at Karloof, South Africa. *Southern African Forestry Journal*, N° 195. October 2002. 63-72.
- Evans, J. 1999.** Sustainability of forest plantations. The evidence. A review of evidence concerning the narrow – sense sustainability of planted forests. The Department of International Development (DFID). London, U.K.
- Evans, J. 2005.** Growth rates over four rotations of pine in Swaziland. *International Forestry Review* 7, 305-310.
- Evans, J. Edit. 2009.** *Planted Forest. Uses, Impacts and Sustainability.* Cab International and FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome.
- Eriksson, H. and U. Johansson, 1993.** Yields of Norway spruce (*Picea abies*) in two consecutive rotations in southwestern Sweden. *Plant and Soil* 154: 239-247.
- Flinn, D.W., P. Hopmans, P.W. Farrell and J.M. James. 1979.** Nutrient loss from the burning of *Pinus radiata* logging residue. *Aust. For. Res.* 1979, 9, 17-23.
- Fox, T.R. 2000.** Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest Ecology and Management* 138 (2000): 187-202.
- Keeves, A. 1966.** Some evidence of loss of productivity with successive rotations of *Pinus radiata* in the South East of South Australia. *Australian Forestry* 30 (1), 51-63.
- Kunz, M., S. Aguirre, R. Peters y Prado, J.A. 1985.** Efecto de la utilización de las plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en la mantención de la productividad del sitio. En: *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Eds. B. Olivares y E. Morales. 24 a 26 octubre 1985. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.
- Long, Y. 1997.** Assessment of plantation productivity in first and second rotations of *Pinus radiata* in New South Wales. *Australian Forestry* 60: 169-177.
- Menne, W. y R. Carrere (2007).** Swaziland: The myth of sustainable timber plantations. *World Rainforest Movement, Timberwatch Coalition.* March 2007.
- Mead, D. 2013.** Sustainable management of *Pinus radiata* plantations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome 2013. 246 p.

- Nambiar, E.K.S. 1995.** Sustained productivity of plantations: science and practice. *Bosque* 16 (1): 3-8.
- O’Heir, J.F. and E.K.S. Nambiar, 2010.** Productivity of three successive rotations of *P. radiata* plantations in South Australia over a century. *Forest Ecology and Management* 259 (2010) 1857-1869.
- Powers, R.F. 1999.** On the sustainable productivity of planted forests. *New Forests* 17: 2623-306.
- Prado, J.A., R. Peters, S. Aguirre y M. Kunz. 1985.** Funciones de biomasa para bosques adultos de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) En: *Pinus radiata*. Investigación en Chile. Eds. B. Olivares y E. Morales. 24 a 26 octubre 1985. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales.
- Robinson, R.K. 1973.** Mycorrhizas and “second rotation decline” in *Pinus patula* in Swaziland. *South African Forestry Journal* 84: 16-19.
- Smethurst; P.J. and E.K.S. Nambiar. 1990.** Effects of slash and litter management on fluxes of nitrogen and tree growth in a young *Pinus radiata* plantation. *Canadian Journal of Forest Research* 20, 1498-1507.
- Squire, R.O. , P.W. Farrell, D.W. Flinn and B.C. Aeberli. 1985.** Productivity of first and second rotation stands of radiata pine on sandy soils. II. Height and volume growth at five years. *Aust. For.*, 1985, 48 (2), 127-137.
- Urbinati, C. y R. Romano. 2012.** Codice Forestale Camaldolesi. Foresta y monaci di Camaldoli. Un rapporto millenario tra gestione e conservazione. Osservatorio Foreste; Istituto Nazionale di Economia Agraria e Collegium Scriptorium Fontis Avellanae. III Volume, Roma. 2012. pp. 206.
- Van Goor, C. P. 1985.** The impact of tree species on soil productivity. *Netherlands Journal of Agricultural Sciences* 33: 133-140.
- White, E.H. 1974.** Whole-tree harvesting depletes soil nutrients. *Can. For. Res.* 4: 530-535.
- Whyte, A.G. 1973.** Productivity on first and second crops of *Pinus radiata* on the Moutere gravel soils of Nelson. *New Zealand Journal of Forestry*, 18 (1): 87-103.



10 Las Plantaciones Forestales y el **DESARROLLO** de la Actividad Industrial

El impacto económico de las plantaciones forestales es indiscutible. La industria forestal chilena consume cerca de 39 millones de metros cúbicos de madera cada año, de los cuales el 99% proviene de las plantaciones forestales, generando una actividad económica que aporta cerca de 300.000 empleos y casi un 7% de las exportaciones del país.

La evolución de la industria en base a las plantaciones

Hasta mediados del siglo XX, la actividad industrial forestal se basaba casi en su totalidad en la producción de madera aserrada de especies nativas. Hacia 1950, cuando en el país existían unos 600 aserraderos móviles que trabajaban en base a maderas nativas de roble, raulí, coigüe, olivillo, tepa, araucaria, laurel y ulmo, la versátil madera de pino insigne comenzaba a adquirir relevancia, debido a que muchos de los bosques que se habían plantado con los incentivos establecidos por la ley de bosques de 1931, ya estaban alcanzando dimensiones aserrables (CORMA, 2002).

A comienzos de los años 60 ya existen las bases para las grandes plantas industriales que cambiarían la fisonomía de la naciente industria forestal chilena. Un importante actor en este proceso fue la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) que promovió la creación de nuevas industrias, especialmente de celulosa, como parte de una política de Estado de protección a la industria nacional de sustitución de importaciones y de incremento al valor agregado de las exportaciones. En esa década las plantaciones de pino radiata sobrepasaban al bosque nativo como fuente de materia prima industrial.

A pesar de este importante desarrollo industrial, el sector forestal aún no alcanzaba gran significación en el contexto de la economía nacional. El modelo de desarrollo imple-

El impacto económico de las plantaciones en Chile es indiscutible. La industria forestal genera una actividad económica que aporta cerca de 300.000 empleos y casi un 7% de las exportaciones del país.

Gráfico N°18

Disponibilidad futura de madera de pino y eucalipto (millones m³)



Fuente: INFOR, 2013.

mentado por el Estado a partir del año 1975 significó un vuelco en las políticas económicas, generando las condiciones para el desarrollo de la iniciativa privada. En este ambiente, que favorecía la inversión privada y daba garantías de largo plazo, el sector forestal, con el apoyo del Estado a través del D.L. 701 de 1974, inició una etapa de inversiones en plantaciones forestales que con los años llevaría a este sector a convertirse en el segundo exportador a nivel nacional, después de la minería. El año 2012 el consumo de madera en trozas alcanzó a 39 millones de metros cúbicos, de los cuales el 99,14% provenía de plantaciones forestales.

Es importante destacar que la actividad forestal basada en las plantaciones, con sólo un 3,5% de la superficie nacional, representa cerca del 3,1% del Producto Interno Bruto (PIB) y sus exportaciones alcanzaron el año 2012, US\$ 5.400 millones, cifra que representa el 6,9% de las exportaciones nacionales (INFOR, 2013).

La disponibilidad de madera de plantaciones aún va en un ligero aumento y se espera que alcance cerca de 46 millones de metros cúbicos hacia el año 2023, para luego mantenerse constante (gráfico N° 18).

La industria del aserrío

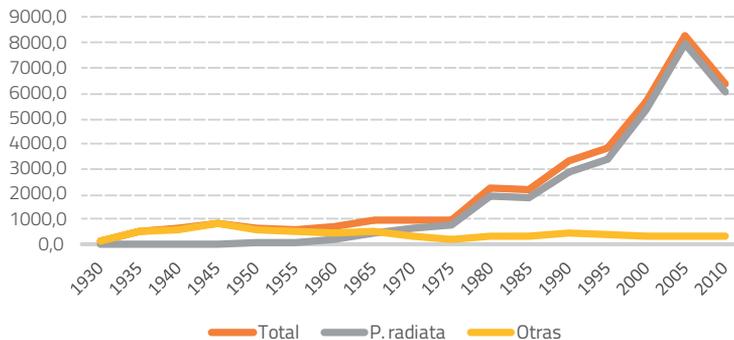
A partir de 1950 la madera de pino fue ganando aceptación entre los consumidores locales, y ya en la década de los 60 había superado en el mercado a la totalidad de las maderas nativas. La disponibilidad y concentración de la materia prima permite el establecimiento de aserraderos fijos con nuevas tecnologías.

La evolución de la industria del aserrío se muestra en el gráfico N°19:

A partir de los años 80 comienzan a establecerse aserraderos con tecnología de punta, lo que significó que hasta

Gráfico N°19

Producción de madera aserrada 1930-2010



Fuente: Instituto Forestal, 2011.



el 2001 el fuerte incremento de la producción fue de la mano de una importante reducción del número de personas ocupadas en la actividad (INFOR, 2009). La madera aserrada de pino se convierte en un importante producto de exportación, lo que demanda volumen y calidad. Las empresas nacionales hacen importantes esfuerzos para cumplir con estándares internacionales en las dimensiones, contenido de humedad y presentación de la madera.

En esos años, la industria maderera se situaba entre las principales actividades económicas del país, debido al repunte de la demanda interna por la reactivación de la construcción y la apertura de importantes mercados de exportación. En 1984, un total de 1597 aserraderos produjo 2,26 millones de m³ de madera de pino radiata, lo que representó el 86% de la producción total de madera aserrada. A principios de los 90 la curva muestra una inflexión generada por la instalación de nuevos aserraderos, con lo que el sector alcanza en el año 2007 su peak de producción, con 8 millones 718 mil m³ de madera aserrada. Este cambio tecnológico tuvo un fuerte impacto en los aserraderos pequeños y medianos ya que desde los casi 1600 aserraderos que existían en 1984 el número se redujo a sólo 940 el año 2013. Esta concentración ha tenido un impacto negativo en el sector, ya que da poco espacio para el desarrollo de pequeñas y medianas industrias forestales, que son importantes en la agregación de valor a los productos y principalmente en la generación de empleos.

Junto con ello se produjo el desarrollo de la llamada industria de remanufactura de madera de pino radiata, destinada a dar mayor valor agregado a la madera aserrada. Dentro de la denominación remanufactura se encuentran las molduras sólidas, la madera cepillada, tableros encolados, partes y piezas para muebles, marcos de puertas y ventanas, finger-joints, entre otros. De acuerdo a CORMA (2002), al haberse logrado un buen conocimiento de las técnicas de secado y elaboración de la madera de pino, esta industria chilena alcanzó un alto grado de competitividad mundial hasta convertirse en la mayor exportadora de molduras para el mercado norteamericano. Sin embargo, la crisis

subprime que comenzó el 2007 y que golpeó dramáticamente al sector de la construcción en Estados Unidos, afectó fuertemente las ventas a ese mercado, lo que provocó el cierre de gran número de aserraderos y plantas de remanufactura en el país (INFOR, 2009).

Industria de la celulosa y papel

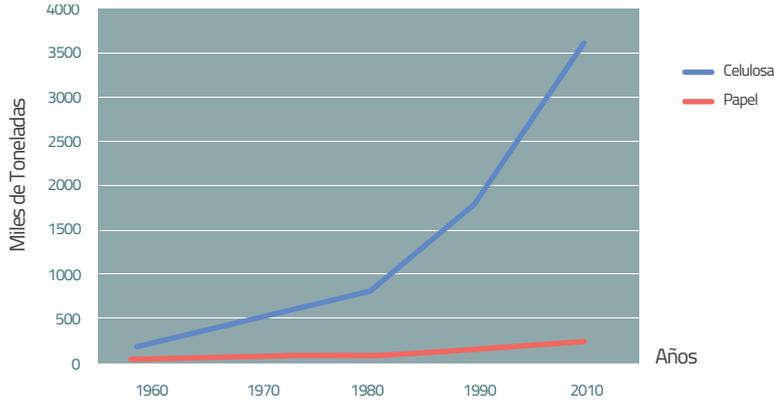
En el ámbito de la celulosa, la Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones (CMPC) fue la primera en visualizar el potencial de las plantaciones como la base de una gran industria forestal. A mediados de los años 50 las plantaciones superaban las 100 mil hectáreas y se encontraban principalmente en la Región del Biobío. Este recurso permitió el establecimiento de importantes industrias de pulpa y papel. En 1959, y mediante una acción emprendida por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), la empresa CMPC inaugura la fábrica de celulosa Laja, la primera en Chile y la segunda en Latinoamérica. Luego, en 1963 y también con la iniciativa y el aval de CORFO, comienza a operar la planta de papel periódico de Industrias Forestales S.A. – INFORSA- ubicada en Nacimiento, Región del Biobío.

A principios de los años 70 el recurso de plantaciones llegaba a las 300 mil hectáreas, que se encontraban en su mayoría en las regiones del Maule y Biobío. La Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) tomando como base este recurso, impulsa y avala la construcción de dos plantas de celulosa: Celulosa Arauco ubicada en el golfo de Arauco, Región del Biobío, con una capacidad de producción de 120.000 toneladas por año, y Celulosa Constitución ubicada en la ciudad del mismo nombre, en la Región del Maule, con una capacidad instalada de 175.000 toneladas por año. A partir de 1990 se instalan 4 nuevas plantas de celulosa, alcanzando una capacidad de casi 2 millones de toneladas por año. Nuevas inversiones se producen a partir del año 2000, con lo que la capacidad instalada para la producción de celulosa basada en plantaciones de pino y eucaliptus totaliza 5 millones de toneladas por año, valor que alcanza al 9% de la oferta de celulosa a nivel mundial (CORMA, 2010).

Gráfico N° 20

Producción promedio de celulosa y papel periódico por década

1960-2010
(miles de toneladas)



Fuente: Instituto Forestal, 2011.

En la actualidad, Chile se cuenta entre los principales productores de celulosa a nivel mundial, con una industria altamente competitiva, basada en un 100% en madera proveniente de plantaciones forestales (gráfico N°20).

tableros: de madera terciada o contrachapado (plywood); de partículas; de fibra HB (hardboards), fibra HDF (high density fiberboard) y MDF (medium density fiberboard); tableros OSB (oriented strand board) y chapas.

Industria de tableros y chapas de madera

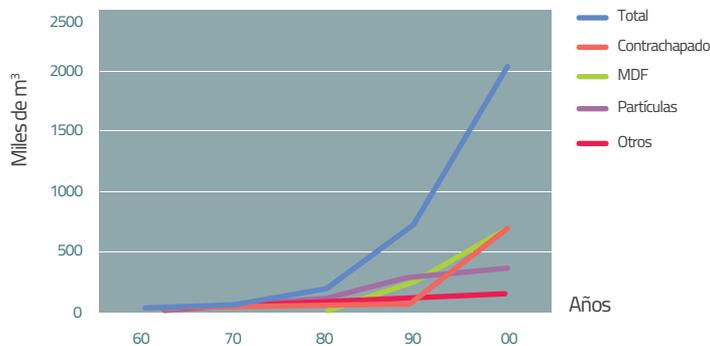
Dentro del sector forestal, los tableros son una de las áreas menos conocidas, sin embargo, esta industria es un importante complemento en la matriz de utilización del bosque y está muy ligada a la optimización del uso del recurso. El subsector de los tableros es uno de los que más ha evolucionado en la industria forestal chilena, llegando el año 2010 a una capacidad instalada de 3 millones 300 mil m³, para la fabricación de cinco tipos de

En Chile la producción de tableros se remonta a 1940 cuando la empresa Industrias Mosso estableció en Curacautín la primera fábrica de madera terciada en base a maderas nativas. Luego, en 1959 se estableció Maderas Prensadas Cholguán S.A. en la localidad de Cholguán, Región del Biobío, que comenzó a fabricar un tablero de madera prensada duro, hecho de fibra de madera de pino radiata, que por años dominó el mercado local: el conocido "cholguán". La base de esta industria fueron las plantaciones establecidas por la Comunidad

Gráfico N° 21

Producción de tableros según promedio por década

1960-2010
(miles de m³)



Fuente: Instituto Forestal, 2011.



Las exportaciones de madera pulpable dieron un impulso al sector en los años 80. Actualmente casi no se exporta madera en trozas.

Irrarázaval Larraín utilizando los beneficios de la ley de bosques de 1931.

En los años 60 surgieron las primeras plantas de tableros aglomerados o de partículas y un poco más tarde se construyó la primera planta de tableros MDF, un producto de gran aceptación en la industria de muebles y en la construcción (gráfico N°21). En la actualidad, la capacidad instalada para la producción de tableros alcanza a 3,3 millones de m³ por año. Un 40% corresponde a contrachapado y un 33,5 % a MDF.

Exportaciones forestales: gran generador de divisas

El país ha desarrollado una industria forestal diversificada, moderna y orientada fundamentalmente a la exportación. El notable dinamismo que hoy exhiben las exportaciones forestales se inicia en los años 60 y se acelera resueltamente después de 1975, cuando el gran esfuerzo del sector privado y del Estado permiten abrir nuevos mercados para sus productos.

El volumen de productos forestales exportados creció a un ritmo anual de casi 15%, ya que a los productos tradi-

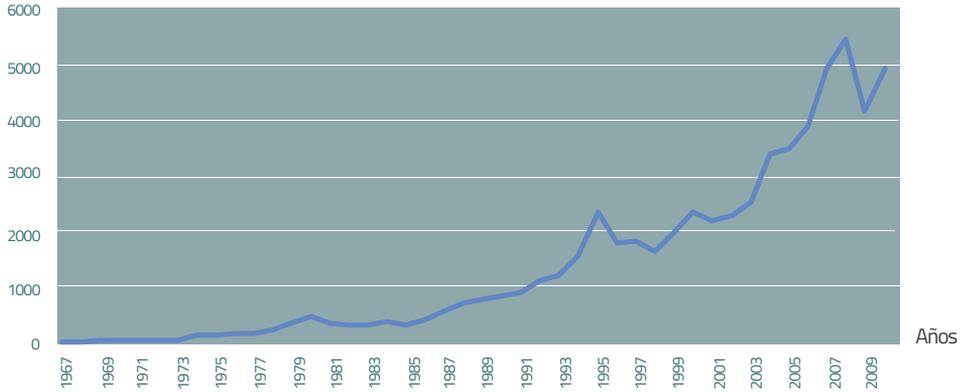
cionales de exportación como la celulosa, papel periódico y madera aserrada, se sumaron más de 50 distintos, incluyendo trozas aserrables, astillas, especialmente de maderas nativas y eucaliptos, madera elaborada, tableros de fibra y de madera. Los países de destino aumentaron de 40 a 76, y al mercado latinoamericano, que predominaba en los 70, se agregan México, Estados Unidos, Alemania, Italia, China, Corea y Japón. Por otra parte, el número de empresas exportadoras tuvo un notable incremento, pasando de 113 en 1977, a cerca de 1000 empresas a partir del año 2000.

La evolución de los valores de las exportaciones forestales entre los años 1967 y 2010, se muestra en el gráfico N°22, donde se aprecia una tendencia creciente a partir de 1973. En 1980 se produce un peak muy importante para la época ya que los más de US\$ 400 millones exportados ese año fueron una clara muestra del potencial exportador del sector forestal. En el gráfico también se aprecian los efectos de las crisis económicas internacionales, como la crisis asiática de 1996 y la subprime, de la cual todavía no hay una total recuperación. El 2008, las exportaciones forestales alcanzaron su máximo valor, con US\$5.453 millones, mientras que a fines del 2014 llegaron a US\$6.094 millones.



Evolución de las exportaciones forestales

1967-2010
(millones US\$)



Fuente: INFOR, 2011.

Cuando se quiere hablar del éxito del sector forestal chileno, el gráfico N°22 es lo más convincente. Teniendo en cuenta los plazos involucrados en el negocio forestal, pasar desde US\$ 100 millones a US\$ 5.500 millones en menos de 40 años es un logro que se reconoce a nivel mundial. Lo que ha hecho Chile en materia forestal ha sido imitado por muchos países, aunque no siempre con éxito.

En cuanto a los productos forestales exportados, la celulosa (pulpa química) es el principal del país (4,8% del valor total de las exportaciones), seguido por la remanufactura de madera y los papeles y cartones. La exportación de tableros de madera, especialmente MDF y contrachapados, aporta una apreciable cantidad de divisas al país, como también la madera aserrada y las astillas pulpables, rubro de exportación que se inició en el año 1986 y que aún continúa con la venta de astillas de eucalipto a Japón. El año 2010 existían 34 centrales de astillado en el país (INFOR, 2011). También es importante destacar el incremento que han tenido los llamados Productos Forestales no Madereros (PFNM), entre los que se cuentan frutos silvestres, corteza de quillay, hojas de boldo y hongos silvestres.

Consideraciones finales

La industria forestal hace un aporte al PIB, de más de un 3%, y es una de las industrias más importantes del país, ya que constituye la segunda fuente de divisas a nivel nacional y lo más importante, porque se basa en un recurso natural renovable –las plantaciones forestales–

que si se manejan adecuadamente pueden abastecer la industria por un tiempo indefinido, generando, además, una serie de beneficios ambientales, especialmente la captura de carbono, fundamental para mitigar los efectos del cambio climático global, que constituye la principal amenaza ambiental para la humanidad.

El desarrollo de la industria forestal chilena ha sido posible gracias a las plantaciones forestales. La uniformidad de la materia prima, la predictibilidad de la oferta de madera, los bajos costos de la materia prima y la organización de las plantaciones en torno a los centros industriales son algunas de las ventajas que ofrece el cultivo intensivo de bosques para la producción de madera. Chile tiene posibilidades de seguir expandiendo su capacidad de producción industrial, para lo cual es necesario continuar estableciendo bosques plantados en cerca de un millón de hectáreas de suelos descubiertos que tienen potencial para la producción de madera de uso industrial.

La participación de pequeños y medianos productores forestales, que poseen la mayoría de los terrenos aptos para la forestación aún disponibles, representa una excelente oportunidad para su desarrollo, al mismo tiempo que permitiría retomar una tendencia creciente en el sector. Esto no sólo es importante desde el punto de vista de la producción de madera, sino que también desde el ambiental. Si se logra sumar a la actividad forestal, en el sentido más amplio, de uno a dos millones de hectáreas adicionales, los beneficios en términos de recuperación de suelos y captura de carbono pueden ser muy significativos.

Referencias

ATCP, 2008. La Industria de los Tableros de Madera en Chile. Revista Celulosa & Papel.

Camus, G. P. 2006. Ambiente, bosques y gestión forestal en Chile (1541-2005) Centro de Investigación Diego Barros Arana, DIBAM, Santiago de Chile, 2006.

CORMA, 2002. Chile, País Forestal: Una Realidad que se Consolida. Corporación Chilena de la Madera A.G. Santiago, 2002.

CORMA/ARAUCO, 2010. Panorama de la Celulosa, Sinopsis de la industria, mercados y proyecciones. Santiago, agosto 2010.

INFOR, 2009. Impacto de la crisis económica mundial en el sector forestal de Chile.

INFOR, 2011. Anuario Forestal 2011, Boletín Estadístico N° 132. Instituto Forestal, Santiago-Chile.



11 Las Plantaciones Forestales y su Impacto SOCIAL

Las plantaciones forestales hoy cubren una superficie de 2,4 millones de hectáreas en el país y por medio de ellas se han recuperado para la producción grandes extensiones de suelos degradados que hoy proporcionan casi el total de la madera que anualmente se corta para fines industriales, generando alrededor de 300.000 empleos directos e indirectos y retornos de exportaciones cercanos a los 6 mil millones de dólares. Sin embargo son el blanco de una serie de críticas, algunas con fundamentos y otras completamente injustificadas. De acuerdo a sus críticos, las plantaciones forestales generan problemas en el suelo, en el agua, afectan la diversidad biológica, favorecen el desarrollo de plagas y enfermedades y alteran el paisaje. La crítica más relevante, sin embargo, es que producen una serie de impactos negativos sobre las comunidades rurales que a menudo se ven empobrecidas y forzadas a emigrar, sumándose, en la mayoría de los casos, a los grupos de extrema pobreza que existen en las ciudades.

Como ya se ha discutido en los capítulos anteriores de este libro, la mayoría de estas afirmaciones están basadas en evidencias parciales que se tienden a generalizar. Los problemas ocasionados por las plantaciones forestales son verdades bajo ciertas condiciones, pero no lo son en muchas otras. En este caso, hay suficientes elementos para concluir que las generalizaciones sobre el impacto de las plantaciones sobre la población rural pueden inducir a error. Cuando se habla de este impacto, por un lado la literatura presenta numerosos casos de efectos negativos, con gente empobrecida que subsiste en el lugar o ha tenido que emigrar (Seufert, 2012; Seguel, 2005) y por el otro, casos en que las comunidades se han visto claramente favorecidas por nuevas fuentes de trabajo, infraestructura de comunicaciones y escuelas, entre otros beneficios (Carámbula y Piñero, 2006). La idea en este caso no es hacer un análisis de estas situaciones a nivel global, sino que dar una visión de lo que ha ocurrido en Chile.

En Chile las plantaciones forestales cubren una superficie de 2,4 millones de hectáreas y por medio de ellas se han recuperado grandes extensiones de suelos degradados.

Plantaciones y su impacto en las comunidades rurales

En Chile se ha hecho una serie de estudios que indican que las plantaciones forestales han tenido un impacto negativo en términos de desarrollo, generando más pobreza que bienestar en las comunas donde predominan (Seguel, 2005; Frías, 2003; Frêne y Nuñez, 2010; Donoso y Otero, 2005).

Entre los problemas que se identifican están la migración forzada hacia centros poblados con todos los problemas sociales que ésta conlleva; falta de oportunidades de trabajo; conflictos territoriales con la etnia mapuche; deterioro cultural; pérdida de fuentes de agua para consumo humano y riego, además de la destrucción de los suelos “generando erosión y extensos desiertos” (Seguel, 2005). Es necesario señalar que la mayoría de estos problemas se asocia más a las empresas forestales que a las plantaciones. Algunos autores consideran que el D.L. 701 fue pensado para facilitar que las grandes empresas tomaran el control de las tierras indígenas y de pequeños propietarios. Aun cuando no cabe duda de que las empresas forestales aprovecharon las condiciones generadas por el D.L. 701 para construir un enorme patrimonio, provocando una concentración que de alguna manera “asfixia” a las comunidades rurales vecinas y hace muy difícil el desarrollo de pequeñas y medianas empresas en el sector forestal, no se puede asegurar que ello sea consecuencia de la ley de fomento a las plantaciones. Las grandes empresas forestales, por la envergadura de sus inversiones necesitan asegurar su abastecimiento y normalmente generan una gran concentración de propiedad alrededor de sus fábricas. Esta es una situación común a las grandes empresas forestales en cualquier parte del mundo y no es algo que sólo ha sucedido en Chile debido a la existencia del D.L. 701.

Esta visión negativa del impacto de las plantaciones sobre las comunidades rurales no siempre coincide con los indicadores sociales. Aun cuando las comunas forestales se cuentan entre las más pobres del país, sus indicadores de desarrollo reflejan que la actividad forestal está generando un importante cambio que ha permitido a estas comunas avanzar más rápidamente en la reducción de la pobreza. Por lo tanto, parece fundamental hacer un análisis con todos los

elementos disponibles para responder estas dos preguntas: ¿Cuál es realmente el impacto de la actividad forestal en las comunidades rurales? y ¿Son las plantaciones forestales la causa de los niveles de pobreza que aún existen en las comunas en donde predomina la actividad forestal?

Como punto de partida para analizar el impacto de las plantaciones en las comunidades rurales es necesario establecer el marco en que se genera el proceso de cambio de uso del suelo desde la agricultura a la actividad forestal.

Lo primero que hay que tener en consideración es que los cambios que se producen en la sociedad rural durante los años de mayor actividad en el establecimiento de plantaciones forestales (1975 – 1995) –que es cuando se produce el mayor impacto–, son parte de un proceso que va mucho más allá del cambio de uso de la tierra, es decir, no responden exclusivamente al desarrollo de la actividad forestal. En ese período se generan importantes cambios influenciados por los procesos políticos y sociales propios del país y por los procesos de globalización. La manera de hacer agricultura cambia sustancialmente; surgen nuevos conceptos, tecnologías y prácticas que provocan una enorme transformación; aparece una agricultura moderna, competitiva y orientada a los mercados internacionales. Sin embargo, no todos los agricultores pueden acceder al nivel de competitividad que esta nueva agricultura exige. Muchos no son capaces de responder a los desafíos y el negocio agrícola se hace inviable por falta de capital y de tecnología y deterioro de los suelos, entre otras razones.

Un alto porcentaje de plantaciones fue establecido en terrenos de aptitud forestal con suelos deteriorados por su uso en la ganadería y agricultura.

Es aquí donde entra la actividad forestal, ocupando tierras donde la agricultura y la ganadería están en un claro proceso de declinación y que por sus características topográficas y de suelo constituyen terrenos de aptitud preferentemente forestal¹. Es importante recordar que un alto porcentaje de las plantaciones fue establecido en terrenos de aptitud forestal que habían sido deforestados y que por largos años se emplearon en actividades agrícolas o ganaderas, lo que llevó, en la mayoría de los casos, a un fuerte deterioro del suelo.

El desarrollo de la actividad forestal sin duda que genera cambios importantes, pero ¿ha sido realmente la causa del empobrecimiento de la población rural y de la migración hacia las ciudades? Respondiendo la segunda parte de la pregunta, la migración hacia las ciudades es un fenómeno propio de los cambios sociales antes mencionados y si bien las plantaciones forestales aportan a este proceso (CONAF, 2013), sin duda que no son "la causa". El fenómeno de des-ruralización está fuertemente relacionado con los procesos de desarrollo, independientemente del tipo de actividad que se realice en el campo y no necesariamente responde al cambio de uso de la tierra desde agrícola a forestal. Más importante que las plantaciones es el hecho de que las nuevas generaciones de pobladores rurales no ven el trabajo en el campo como una alternativa de desarrollo personal y desde hace décadas que están buscando nuevos horizontes (UNDP, 2008). Puede que muchos se mantengan en el medio rural, pero sus actividades están fuertemente diversificadas.

Al respecto, Frêne y Nuñez (2010) señalan que durante el período de mayor actividad en torno a las plantaciones, entre 1970 y 1990, se generaron importantes procesos de migración hacia centros urbanos asociados a altos niveles de desempleo. La principal causa, según los autores, habría sido la actividad forestal. Al respecto es importante recordar las graves crisis económicas internas que sufrió el país en ese período, especialmente la que se inició en 1982, que afectó la economía nacional por algunos años, y que generó tasas de desempleo que alcanzaron niveles dramáticos. Por lo tanto resulta muy difícil analizar el impacto de las plantaciones, despejándolo de los problemas macroeconómicos y financieros que afectaban a la economía chilena en ese período.

En relación a los niveles de pobreza que muestran las comunas donde predomina la actividad forestal, hay quienes sostienen que la actividad relacionada a las plantaciones resta medios de vida y de producción a quienes permanecen en el área, reduciendo sus posibilidades de desarrollo.

Al respecto, algunos estudios (Donoso y Otero, 2005; Frêne y Nuñez, 2010; Reyes, 2013) señalan que en el país existe una fuerte correlación entre la actividad forestal y la pobreza. Esta aseveración se basa en que los Índices de Desarrollo Humano (IDH)², establecidos por PNUD (2004), son más bajos en las regiones donde se concentra la actividad forestal basada en plantaciones. De acuerdo a estos estudios, los habitantes de estas comunas tendrían menor acceso a la educación y la salud y menos ingresos, por lo tanto, menores índices de desarrollo humano. Las investigaciones atribuyen este problema a un menor ingreso municipal en las comunas con grandes extensiones plantadas, ya que éstas aportan muy poco al impuesto territorial. Esto afectaría los componentes educación y salud. El hecho de que gran parte de los recursos de estas áreas provienen del presupuesto nacional debilita este argumento, pero de todas maneras, las cifras presentadas son elocuentes; las comunas en que se concentra la actividad forestal se cuentan entre las más pobres del país. Lo que no queda demostrado, sin embargo, es que las plantaciones forestales sean la causa del problema.

¹/La aptitud preferentemente forestal era una condición sine qua non para optar a los beneficios del D.L. 701 de fomento a la forestación.

²/El IDH tiene como objetivo superar una visión exclusivamente económica y monetaria del desarrollo, incorporando otros elementos como la educación y la salud, además de nuevas visiones independientes de las instituciones políticas y económicas dominantes (PNUD, 2013).

Al analizar esta situación, lo primero que es necesario tener presente es que antes de que se produjese la gran expansión de las plantaciones forestales, estas comunas eran las más pobres de Chile (ODEPLAN, 1975) y en la mayoría de los casos, las más deterioradas desde el punto de vista de los recursos naturales, particularmente de los suelos. Por lo tanto, lo que hay que analizar es la evolución que ha tenido la pobreza en las comunas forestales en relación a otras donde predominan otras actividades y ver si el desarrollo en los últimos 20 ó 30 años se ha producido a una tasa menor que en el resto del país. Si así fuese, habría buenas razones para relacionar la actividad forestal con los niveles de pobreza presentes en estas regiones y particularmente en las comunas llamadas forestales.

Los datos sobre el IDH entregados por PNUD (PNUD, 2004), en los que basan su análisis Frêne y Nuñez (2010), incluyen información sobre las variaciones de este índice entre 1990 y 2003. El gráfico N° 23 presenta el incremento del IDH por regiones, según el estudio PNUD 2004.

Es interesante constatar que las regiones con mayor incremento en su IDH, en términos absolutos, son justamente aquellas donde se concentra la actividad forestal basada en plantaciones: Maule, Biobío y La Araucanía. De acuerdo a estos datos se podría concluir que la actividad forestal contribuyó a generar un cambio importante en la dinámica del desarrollo en estas regiones. El paso desde una economía basada en una agricultura muy poco productiva a una

basada en una actividad de gran dinamismo, como fueron las plantaciones forestales en ese período (1990 – 2003), a lo que se agrega el desarrollo de grandes industrias forestales, podría explicar por qué estas regiones son las que están experimentando el mayor cambio en términos de Índice de Desarrollo Humano.

El PNUD ha hecho nuevos estudios sobre el IDH y en el 2008 se centró en las comunidades rurales de Chile. El estudio destaca el desarrollo en infraestructura vial, comunicaciones, electricidad, agua potable y atención médica, entre otras cosas, que han transformado la calidad de vida en el medio rural chileno e incluye diversas referencias al efecto de la actividad forestal sobre las comunidades. Algunos testimonios de agricultores contenidos en este estudio permiten comprender que ellos tienen claro el impacto negativo que las plantaciones han causado en el medio ambiente, particularmente en la disponibilidad de agua, pero al mismo tiempo reconocen que se han creado importantes oportunidades de trabajo, por lo que evalúan a las forestales “de manera más positiva que negativa” (PNUD, 2008). En otros testimonios se valora la existencia de las plantaciones desde el punto de vista ambiental al señalar: “Antes que forestaran aquí, todo esto era pelado, había poco nativo, casi nada”. Por otro lado, hay quienes expresan su preocupación por el posible efecto de la aplicación de pesticidas en los bosques aledaños: “Gracias a Dios que no fumigan, porque una vez que fumiguen va a ser mucho peor” (PNUD, 2008). En relación a este tema, el mismo estudio señala que un

Gráfico N° 23

Incremento del IDH por Regiones 1990-2003



Fuente: PNUD 2004.

27% de las personas encuestadas³ reconoce la existencia de actividades que amenazan el medio ambiente en el lugar donde viven. Entre los potenciales agentes de daño que ellos identifican aparece principalmente la agroindustria y se menciona la aplicación de químicos por parte de las empresas forestales. También es interesante constatar que sólo el 8,6%⁴ de las personas que viven en el medio rural identifica a la actividad forestal como la principal actividad económica de la localidad, lo que es un indicador de que ésta no es tan "invasiva" del medio rural como se percibe.

Un estudio recientemente realizado por la Universidad de Chile (Programa de Gestión Ambiental, Progea, 2014) confirma que las comunas forestales siguen siendo las más pobres del país (gráfico N° 24). Los niveles de pobreza continúan siendo más altos en las comunas forestales, sin embargo la brecha entre estas localidades y el promedio regional⁵ y nacional se ha ido reduciendo. Los niveles de pobreza e indigencia en las comunas forestales se han reducido en un 22% entre 1994 y 2011, mientras que la disminución fue de 18,5% y 13,2% a nivel regional y nacional, respectivamente. Estos resultados concuer-

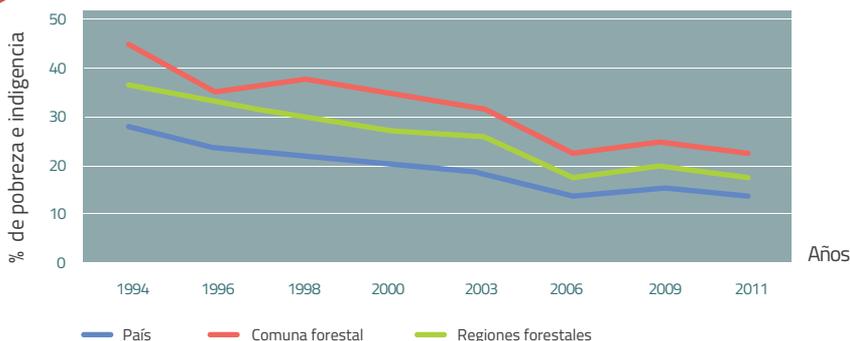
dan con lo mencionado anteriormente en relación a la evolución del IDH.

El estudio mencionado (Progea, 2014) entrega otra serie de indicadores. El menor ingreso familiar ocurre en las comunas forestales cuando se le compara con los ingresos a nivel regional y nacional, sin embargo éste es superior al de las comunas agrícolas, con diferencias muy importantes entre 1994 y 2000, probablemente por el dinamismo de las actividades silvícolas en ese período. Por otra parte, las comunas forestales presentan una mayor tasa de desocupación en relación al promedio regional y nacional, y también con respecto a las comunas agrícolas, con una diferencia que se ha ido incrementando en los últimos 20 años. Entre las comunas forestales, en aquellas en que existen plantas de pulpa y papel se registran menores tasas de desempleo.

En relación a la educación, la tasa de alfabetismo llega a 93,7% en las comunas forestales, por debajo de la media de las regiones, que alcanza a 94,5%. Sin embargo, el porcentaje de la población que alcanza la educación media es superior en las comunas forestales (60%), en relación a aquellas donde

**Gráfico
N° 24**

Pobreza a nivel regional, nacional y de comunas forestales



Fuente: Progea, 2014.

3/Personas que viven en el medio rural.

4/56,6 % de las unidades muestrales se encuentra entre Maule y Los Lagos.

5/ Nivel de las regiones en donde la actividad forestal basada en plantaciones es importante.

predomina la actividad agrícola (50%) y las con predominio de la actividad pesquera (50%).

Un estudio reciente realizado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF, 2014) analiza la relación entre plantaciones forestales y pobreza, empleando información económica (empleo, evolución de ingresos) y sociológica, incluyendo datos sobre trayectorias migratorias, tratando de captar la relación entre cambio social y desarrollo individual. El estudio incluyó entrevistas a pequeños y medianos propietarios forestales y no forestales, asalariados y migrados. Se analizó un total de 27 casos en 9 comunas forestales.

Como resultado de esta investigación, realizada en las 5 regiones más importantes desde el punto de vista de las plantaciones forestales, se concluye que, en general, no hay una relación clara entre plantaciones y pobreza o entre plantaciones y migración rural-urbana. Por el contrario, los indicadores económicos permiten concluir que el sector forestal tuvo más dinamismo que el resto de la economía, lo cual impactó positivamente en la participación de las remuneraciones en el PIB silvoagropecuario (CONAF, 2014). En un análisis más detallado a nivel regional, se constata que entre 1993 y 2011 el número de pobres se reduce considerablemente, desde algo más de 700 mil a unas 450 mil personas. El estudio CASEN 2006 revela una importante disminución de la pobreza, la que luego vuelve a tomar una tendencia creciente, para llegar a las 450 mil personas en 2011. En los datos que presenta el estudio realizado por CONAF no se percibe una correlación muy estrecha entre forestación y pobreza. De todas maneras, éste concluye que "existe un problema de estilo de desarrollo que requiere ser resuelto y al cual deben concurrir no sólo las autoridades públicas, sino que también las grandes empresas forestales que tienen una enorme influencia en materia de calidad de vida de la población de la región".

Al referirse a la situación de La Araucanía, la investigación destaca la complejidad de las condiciones presentes en esta región, por lo que resulta aún más difícil relacionar un factor, en este caso el desarrollo de la actividad forestal, con los procesos presentes en la zona. El estudio señala que hay

un avance sostenido en el área cubierta con plantaciones, aumentando de 80 mil hectáreas en 1977 a más de 650 mil ha en 2011 y que se mantiene el número de pobres a pesar de que hay una notable disminución tanto en la población total como en la población rural de la región. En este caso, la actividad forestal no ha ayudado a resolver el problema de la pobreza.

Plantaciones y etnia mapuche

Los problemas que enfrenta la etnia mapuche también se asocian a las plantaciones forestales. En muchos casos las empresas forestales adquirieron tierras que estas comunidades consideran como propiedades ancestrales, lo que ha llevado a un conflicto de difícil solución. Sin embargo, es importante señalar que en la mayoría de los casos las empresas se establecieron en terrenos que por décadas habían estado en manos de propietarios no mapuche. Por lo tanto, no es la llegada de la actividad forestal lo que genera el problema. Basta ver que la mayoría de los conflictos se produce en predios destinados a la producción agrícola.

Al respecto, Frías (2003) señala: "La actual explotación forestal representa una etapa de una historia de constante usurpación de tierras y explotación del territorio mapuche y de la imposición de modelos de desarrollo ajenos al pensamiento mapuche y que atentan contra su bienestar".

Algunos estudios
permiten concluir que
no hay una relación
clara entre plantaciones
y pobreza o entre
plantaciones y migración
rural - urbana.



Es necesario señalar que algunas empresas han empleado estrategias erradas en su aproximación a las comunidades indígenas.

Continúa: “Mientras las plantaciones de pino y eucalipto son relativamente contemporáneas, datan a partir de mediados de la década de los sesenta, la violación y violenta ocupación del territorio mapuche por el Estado chileno se remonta a mediados de los mil ochocientos”. Esto confirma que el conflicto mapuche no se genera con las plantaciones forestales, aun cuando es necesario señalar que algunas empresas han empleado estrategias erradas en su aproximación a las comunidades indígenas, lo que ha ayudado a la polarización del conflicto. Sin embargo, hoy están haciendo importantes esfuerzos por desarrollar una mejor relación con las comunidades vecinas, incluyendo aquellas mapuche, lo cual surge tanto de la necesidad de las empresas de reducir el riesgo que el conflicto genera sobre sus propiedades, como de la necesidad de cumplir con las exigencias de buena vecindad que requieren los procesos de certificación, que se hicieron necesarios para acceder de mejor manera a los mercados internacionales de productos forestales. Aun cuando estas actividades pueden estar basadas en el interés de las empresas, están generando un cambio positivo en su relación con las comunidades vecinas.

Seguel (2005) asigna a la concentración de plantaciones forestales una fuerte responsabilidad en el empobrecimiento del pueblo mapuche y considera que las leyes de fomento a la forestación, aun cuando estén dirigidas a

favorecer a los pequeños propietarios, no hacen más que beneficiar a las grandes empresas, que necesitan de nuevas fuentes de materia prima para ampliar sus negocios y por lo tanto el fomento a la forestación no debe continuar. Al respecto, es lógico pensar que las empresas establecidas podrían ser las principales consumidoras de la materia prima y verse beneficiadas por esta mayor disponibilidad de madera, pero por otra parte, esta idea de no generar beneficios a la empresa, aun cuando sean potenciales, como en este caso, está negando el apoyo que puede dar el Estado a las comunidades más pobres, que tienen en las plantaciones forestales una alternativa clara de uso de suelos agotados por la agricultura. En suelos altamente degradados, el negocio forestal es más rentable que la agricultura, considerando que el Estado podría financiar hasta un 90% de los costos de establecimiento. ¿Cuál sería el problema si ambos, el pequeño productor y la empresa, se beneficiaran?. El problema se genera porque se fomenta una desconfianza hacia las empresas forestales y las comunidades mapuche no confían en que van a recibir precios justos por su madera. Sin duda que una historia de engaños –no necesariamente asociada a las empresas forestales– es una buena razón para esta desconfianza, pero, en un mercado abierto, como el chileno, lo lógico es pensar que las empresas van a pagar los mismos precios que pagan a otros proveedores, ya que tienen la competencia de los exportadores de astillas, en el caso de eucaliptos, y de los aserraderos, en el caso de los pinos. Con el acceso a la información que existe hoy, no hay ninguna razón para pensar que los propietarios mapuche van a vender su madera a precios por debajo de los de mercado.

Es necesario hacer un enorme esfuerzo para revertir la idea de que se está frente a un conflicto donde las posiciones son irreconciliables. Ese es el planteamiento sólo de algunos grupos extremos y no del pueblo mapuche.

Plantaciones e impacto ambiental asociado al bienestar humano

Según los pobladores rurales, entre los problemas generados por las empresas forestales, sin duda que el más

importante es el relacionado con el efecto de las plantaciones sobre la disponibilidad de agua. Se trata de un impacto ambiental con una fuerte conexión al bienestar social de la comunidad, ya que la escasez de este recurso puede afectar seriamente las actividades agrícolas de subsistencia que realizan las comunidades rurales. Como se analizó en el Capítulo 6, las plantaciones pueden generar considerables reducciones en los caudales de esteros y quebradas, en áreas con escasa precipitación o con largos períodos secos. En zonas con precipitaciones abundantes (> 1000 mm/año) el impacto de las plantaciones sobre la producción de agua es menor, aun cuando es posible que se genere este tipo de problemas en cuencas cubiertas en una alta proporción por plantaciones forestales. Este es un tema que debe estudiarse a fondo para proponer soluciones. Un manejo con un enfoque de territorio, que permita un adecuado balance entre plantaciones forestales y otras formas de uso de la tierra, por ejemplo el uso silvopastoral, puede mitigar considerablemente este problema. Como se discutió en el Capítulo 6, un manejo adecuado de las plantaciones también permite reducir su impacto sobre la producción de agua en una cuenca.

La otra situación que se menciona a menudo es aquella generada por la aplicación de pesticidas que contaminan las aguas, matan las abejas y pueden causar efectos directos sobre la población. Al respecto es necesario mencionar que el uso de químicos en la actividad forestal es bajo, muy inferior a lo que emplea el sector agrícola. Los fertilizantes y herbicidas se emplean en bajas cantidades, de manera

controlada y sólo al inicio de la rotación, es decir se hace una aplicación cada 15 ó 25 años, dependiendo de las especies plantadas. En el control de plagas el manejo integrado es una práctica habitual, donde se aplica una combinación de control biológico y manejo silvícola, técnica reconocida como de bajo impacto ambiental.

Las plantaciones forestales y el empleo

Las estadísticas existentes sobre empleo en el sector forestal no hacen distinción entre aquellos generados por plantaciones forestales o por bosque nativo, sin embargo, sabiendo que casi el 99% de la madera industrial proviene de plantaciones, las cifras globales se acercan a lo que es la generación de empleo por plantaciones.

Los datos de empleo en el sector forestal se entregan en el cuadro N° 10.

El empleo en el sector forestal ha aumentado, pero no en la proporción en que se ha incrementado la actividad forestal. Esto resulta bastante lógico, ya que la incorporación de nuevas tecnologías, tanto en las tareas de extracción como en la industria, supone un menor empleo de mano de obra. En 1992 según el Plan de Acción Forestal de Chile, elaborado con el apoyo de la FAO, el sector empleó 100.126 personas, incluyendo trabajos de producción forestal primaria e industrias. En 2013 casi alcanza a 121 mil personas, con un incremento de 1,8% en relación al año anterior.

| Empleo directo en el sector forestal (INFOR, 2012) | | | | |
|---|---------|--------------|-----------|-----------|
| Año | Total | Silvicultura | Industria | Servicios |
| 2000 | 119.097 | 40.344 | 65.450 | 13.303 |
| 2005 | 135.168 | 44.715 | 73.933 | 16.520 |
| 2010 | 118.098 | 41.227 | 61.435 | 15.437 |
| 2013 | 121.164 | 42.474 | 63.657 | 15.033 |

Cuadro N° 10



La actividad forestal industrial basada en plantaciones forestales adicionalmente genera una serie de otros empleos relacionados con servicios, organizaciones sindicales, gremiales, empresas consultoras, entre otras. INFOR estimó que el 2010 el sector forestal dio empleo, de manera directa e indirecta, a unas 300.000 personas, lo cual representó el 4% del empleo a nivel nacional.

Consideraciones finales

La relación entre forestación, o más bien empresas forestales y las comunidades rurales es bastante compleja y sin duda que tiene aspectos positivos y negativos. Aun cuando las comunas en que predomina la actividad basada en plantaciones forestales continúan siendo las más pobres del país, son las que más han avanzado en los últimos 20 años en términos de reducción de la pobreza, escolaridad e Índice de Desarrollo Humano. Por lo tanto, la identificación de las plantaciones forestales como la causa de la mayor pobreza en las comunas donde predomina esta actividad no tiene un sustento sólido. Por el contrario, los estudios que aquí se han analizado demuestran que, a pesar del impacto que las plantaciones pueden tener al desplazar las actividades agrícolas, en el largo plazo han generado un ritmo de desarrollo superior que el de otras áreas del país donde predominan otras actividades.

Es importante señalar que, a pesar de ello, el modelo de desarrollo forestal chileno no ha ayudado a resolver los problemas existentes, especialmente cuando se trata de las comunidades mapuche. La gran concentración de la actividad forestal tiende a "asfixiar" a las comunidades insertas en su patrimonio. Sin embargo, también es válido preguntarse si el problema se hubiese resuelto manteniendo esas tierras con una producción agrícola marginal, que es lo que sucedía antes de las plantaciones forestales. Lo más probable es que no. En el fondo, la aversión por las plantaciones forestales se genera por el tipo de propiedad que predomina. Se utilizan éstas como una forma de atacar a las grandes empresas forestales y no porque las plantaciones realmente causen daño ambiental y social. Este tipo de reacción no sólo se da en el caso de Chile, sino que también en otros países

Adicionalmente, la actividad industrial basada en plantaciones genera una serie de empleos relacionados con servicios, capacitación, organizaciones gremiales y empresas consultoras, entre otras.

en donde las plantaciones forestales han cobrado importancia, entre ellos Argentina, Brasil y Uruguay. Si las plantaciones forestales fuesen de pequeños y medianos propietarios y no estuviesen concentradas en grandes empresas, la visión sería completamente diferente. ¿Qué pasa en Inglaterra, por ejemplo, donde las plantaciones forestales están repartidas entre miles de propietarios? No existe esta visión absolutamente negativa que difunden algunos grupos en Chile y en otros países de América Latina.

En todo caso, las empresas forestales deben revisar la manera en que manejan sus patrimonios, considerando un enfoque territorial que reduzca los impactos negativos, especialmente cuando se generan problemas en el abastecimiento de agua y buscando nuevos esquemas de aproximación a las comunidades aledañas.

Referencias

- Carámbula, M. y D. Piñero. 2006.** La forestación en Uruguay: cambio demográfico y empleo en tres localidades. *Agrociencia* (2006) Vol. X N° 2. Pág. 63-73.
- CONAF, 2014.** Pobreza y plantaciones forestales. Documento Técnico N° 216. Departamento de Plantaciones. Gerencia Forestal. Corporación Nacional Forestal.
- Donoso, P., L.Otero. 2005.** Hacia una definición de país forestal: ¿Dónde se sitúa Chile? *Bosque*, Vol.26 N°3, diciembre 2005, pp.5 – 18.
- Frêne, C. y M. Nuñez. 2010.** Hacia un nuevo modelo forestal en Chile. *Revista Bosque Nativo* 47: 25 – 35.
- Frías, G. 2003.** Invasión Forestal. *KhlaNagnegeiTaiñwei-changepan*. Unión de Comunidades Autónomas Mapuche de Lumako, LonkoLeftraru.
- INFOR, 2012.** El Sector Forestal Chileno 2011. Instituto Forestal. Ministerio de Agricultura, Chile.
- Laroze, A. y H. Gilabert.(2009)** Estimación del carbono capturado en las plantaciones de pino radiata y eucaliptos con el DL-701 de 1974. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Ministerio de Agricultura, Chile.
- Progea, 2014.** Actualización de estudio evaluación del aporte económico y social del sector forestal en Chile y análisis de encadenamientos, año 2014. Informe Final. Programa de Gestión y Economía Ambiental. UNTEC. Universidad y Tecnología. Fundación para la Transferencia Tecnológica creada por la Universidad de Chile.
- PNUD, 2004.** Informe sobre desarrollo humano. El poder: ¿Para qué y para quién? Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Santiago, Chile .
- PNUD , 2006.** Temas de Desarrollo Humano Sustentable N° 11, Las trayectorias del Desarrollo Humano en las comunas de Chile. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Santiago, Chile.
- PNUD, 2008.** Desarrollo humano en Chile rural. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Santiago, Chile.
- Reyes, R. 2013.** El índice de desarrollo humano y el sector forestal chileno. *El Mostrador*. Columnas. 9 de enero de 2013.
- Seguel, A. 2005.** Modelo forestal chileno y movimiento autónomo mapuche: las posiciones irreconciliables de un conflicto territorial. *Biodiversidad en América Latina*. <http://www.biodiversidadla.org/content/view/full/20971>.
- Seufert, P. (Ed.) 2012** The human rights impacts of tree plantations in Niassa province, Mozambique. *FIAN International*, September 2012.





12 Consideraciones FINALES

Las plantaciones forestales hacen un aporte fundamental a la producción de madera a nivel mundial. Con sólo un 2% de la superficie total de bosques y con especies de rápido crecimiento, generan casi el 30% de la madera de uso industrial. Si se emplea el concepto de bosques plantados utilizado por la FAO en sus evaluaciones de los recursos forestales del mundo, el 7% de los bosques del mundo originados mediante plantación, producirían cerca de dos tercios de la madera de uso industrial (Carle *et al.* 2009). Además, las plantaciones forestales resultan insustituibles en las tareas de recuperación de suelos degradados, cuyo proceso luego permite el establecimiento de ecosistemas productivos o de protección que generan una serie de beneficios económicos y ambientales, entre ellos el aporte a la mitigación del cambio climático.

Con sólo un 2% de la superficie total de los bosques y con especies de rápido crecimiento, las plantaciones forestales generan casi el 30% de la madera de uso industrial en el mundo.

La FAO, a través del documento “Ordenación responsable de los bosques plantados: directrices voluntarias”, hace un importante aporte al establecimiento de estos bosques. La aplicación de sus directrices permite que los aspectos culturales, sociales, ambientales y económicos de las plantaciones sean tomados en cuenta e incorporados en su manejo de manera equilibrada, mitigando, de esta forma, los posibles impactos negativos que pudiesen tener sobre el ambiente o la sociedad. Estas directrices constituyen un reconocimiento de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura a la importancia de las plantaciones forestales, no sólo por su aporte desde el punto de vista productivo sino que también desde el ambiental y social y destacan el hecho de que la ordenación responsable de los bosques plantados es parte del concepto de manejo sostenible de los bosques.

Las plantaciones forestales, o en otras palabras, la producción eficiente de madera en el menor espacio posible, es la única manera de reducir la presión que ejercerá la

población del mundo sobre los bosques en las próximas décadas. Si se quiere proteger la diversidad biológica contenida en los bosques naturales, la solución pasa por producir más madera mediante un manejo intensivo, altamente tecnificado, tal como se produce el maíz, el trigo o la soja. Una de las más reconocidas organizaciones dedicadas al cuidado de la naturaleza, WWF, destaca la importancia de las plantaciones forestales para reducir la presión sobre los bosques nativos: "En el lugar apropiado y manejadas sosteniblemente, las plantaciones forestales pueden reducir la presión por incluir nuevas áreas de bosque natural en la producción" (WWF, 2012).

Este es un concepto que hay que tener muy presente, ya que se prevé que la demanda de madera será creciente en las próximas décadas. El aumento de la población mundial, que se estima llegará a los 9 mil millones de personas en el 2050, sin duda que generará una mayor demanda de madera. En la actualidad, aproximadamente 2.600 millones de personas la utilizan como principal fuente de energía, razón por la cual casi la mitad de la madera cosechada en el mundo se emplea como combustible de uso doméstico (FAO, 2010). Si bien esta tendencia debería bajar, es muy probable que hacia 2050 cerca de

2.500 millones de personas aún dependan de ella como principal fuente de energía.

Otro factor que incidirá en el consumo de madera es el aumento de los ingresos en los países más pobres y especialmente en las economías emergentes de Asia (OECD, 2013; WB, 2014). Históricamente, el aumento en la capacidad adquisitiva de las personas ha traído como consecuencia un incremento en el consumo de madera.

A estos dos factores, que son sin duda los más importantes, se suman otros que también pueden tener una enorme incidencia en el consumo futuro de madera. Entre ellos está la producción de bioenergía, que potencialmente tiene un impacto difícil de evaluar, pero que de acuerdo a algunos estudios (WWF, 2012) podría llegar a duplicar el consumo de madera. También la aparición de nuevos productos derivados de la madera, entre los que se cuenta la producción de fibras textiles que compiten con el algodón, los que pueden generar un aumento considerable en la demanda.

El gráfico N°25 muestra la proyección de la demanda de madera total y de uso industrial al año 2050. Esta última

Gráfico N°25

Proyección del consumo industrial y del consumo total de madera al 2050
(Millones de m³/año)

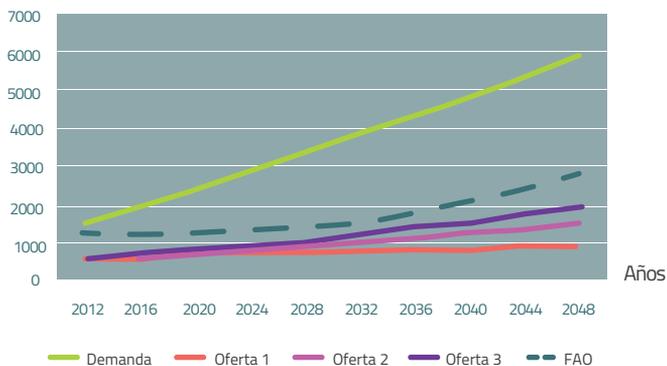


Fuente: FSC, 2012; FAO, 2009.



Gráfico
N°26

Proyección de la demanda de madera industrial y distintos escenarios de abastecimiento con plantaciones forestales



Fuente: Adaptado de FSC, 2012 y datos de FAO.

llegaría a cerca de 6.000 millones de metros cúbicos por año, en tanto que el consumo total de madera podría llegar a duplicar esta cifra.

Las plantaciones forestales deberían jugar un importante papel en el abastecimiento de esta madera. En el gráfico N°26 se muestran distintas posibilidades de oferta a partir de plantaciones forestales, las 1 a 3 están adaptadas de FSC 2012 y corresponden al aporte que podrían hacer las plantaciones forestales en un escenario restrictivo (1), en un escenario medio, en donde no hay restricciones a las plantaciones pero tampoco hay incentivos (2) y un escenario en que los países incentivan el establecimiento de plantaciones (3). La línea punteada corresponde a una visión más optimista en cuanto al aporte que pueden hacer las plantaciones forestales al abastecimiento de madera en el futuro, basada en diferentes datos generados por la FAO.

En el más optimista de los casos, las plantaciones forestales podrían abastecer cerca del 40% de la demanda de madera industrial. Aun así, faltarían unos 3.000 millones de m³ por año para satisfacer el total de esta demanda, madera que necesariamente debería cosecharse en los bosques naturales. Lo más probable es que por accesibilidad y ubicación, gran parte de ella provenga de los bosques boreales, pero sin duda que los tropicales también se

verán fuertemente impactados. Además, se debe tener presente que los bosques tropicales estarán bajo fuerte presión para satisfacer la demanda de madera para energía y lo más importante, la necesidad de alimentar a 9.000 millones de personas que se concentrarán en los países en desarrollo requerirá de nuevas tierras destinadas a la agricultura, gran parte de las cuales se encuentran actualmente cubiertas de bosques.

La única manera de reducir el impacto de la demanda de madera sobre los ecosistemas naturales es producir más madera en menos superficie. Dada la eficiencia de las plantaciones forestales en ello, incentivar su establecimiento aparece como la alternativa más lógica para reducir la presión sobre los bosques nativos. Una hectárea de plantación de rápido crecimiento puede producir hasta 500 m³ de madera en 10 años. Para obtener la misma cantidad de un bosque nativo puede ser necesario intervenir 10 o más hectáreas, con el impacto sobre la diversidad biológica, el suelo y el agua que esto implica. Recuperar el stock de madera cosechada en estos mismos bosques requerirá de al menos 100 años.

Todo indica que quienes se oponen a las plantaciones forestales para salvar la diversidad biológica a nivel global están en el camino equivocado.

Referencias

Carle, J. , J. Ball and A. del Lungo. 2009. The Global Thematic Study of Planted Forests. In: Planted Forests. Uses, Impacts and Sustainability. Ed. J. Evans. FAO, CABI. 213 p.

FAO, 2009. Planted Forests: uses, impacts and sustainability. Ed. Julian Evans. CAB International and FAO. 213 pp.

FSC, 2012. Forest Stewardship Council. Strategic Review on the Future of Forest Plantations. Indufor.

OECD, 2013. Economic Outlook for Southeast Asia, China and India 2014. Beyond the middle –income trap. OECD Development Centre. ASEAN Secretariat.

World Bank, 2014. World Development Indicators, 2014.
WWF, 2012. Living Forest Report. Chapter 4: Forests and Wood Products.





Agradecimientos

Agradezco sinceramente a Sergio Aguirre, quien fue fundamental en la recopilación de antecedentes; a Roland Peters, que aportó la información sobre productividad; a Jorge Correa, por sus aportes al contenido de varios capítulos.

Plantaciones Forestales. Más Allá de los Árboles

Autor: José Antonio Prado Donoso

Diseño: Publisiga Ltda.

Imprenta: Gráfica Andes

Este libro es editado por el Colegio de Ingenieros Forestales A.G.

Representante legal: Roberto Cornejo Espósito
Santiago de Chile, 2015

Inscripción N°: 254487

ISBN: 978-956-7660-02-5

