

PLANTACIONES E INCENDIOS FORESTALES: ANTÍTESIS A LA CONSERVACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Ricardo Figueroa Jara^{*} • *María Elisa Díaz Burgos*^{**}

María Rosario Vidal-Abarca^{***}

María Luisa Suárez Alonso^{****}

Verónica Delgado Schneider^{*****}

RESUMEN

El fuego es un fenómeno inherente a los bosques, pero el modelo de gestión y manejo de las plantaciones forestales incrementa su frecuencia e intensidad, convirtiéndose en un importante agente perturbador que genera cambios en la dinámica ecológica que

^{*} Dr. Ricardo Figueroa Jara, profesor de Biología. Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad de Málaga, Málaga, España. Profesor asociado del Departamento de Sistemas Acuáticos, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Investigador asociado Centro CRHIAM. Contacto: rfiguero@udec.cl

^{**} Dra. María Elisa Díaz Burgos, bióloga. Doctora en Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Investigador adjunto Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile. Contacto: mariaelisdiaz@gmail.com

^{***} Dra. María Rosario Vidal-Abarca, bióloga. Doctora en Ecología, Universidad de Murcia, Murcia, España. Catedrática del Departamento de Ecología e Hidrología del Campus Regional de Excelencia Internacional, Campus Mare Nostrum, Universidad de Murcia, Murcia, España. Contacto: charyvag@um.es

^{****} Dra. María Luisa Suárez Alonso, bióloga. Doctora en Ecología, Universidad de Murcia, Murcia, España. Catedrática del Departamento de Ecología e Hidrología del Campus Regional de Excelencia Internacional, Campus Mare Nostrum, Universidad de Murcia, Murcia, España. Contacto: mlsuarez@um.es

^{*****} Dra. Verónica Delgado Schneider, abogada. Doctora en Derecho, Universidad de Roma Tor Vergata, Roma, Italia. Profesora asociada de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Investigadora asociada centro CRHIAM. Contacto: vedelgado@udec.cl

rige el funcionamiento de los ecosistemas y la pérdida o disminución de muchos servicios ecosistémicos. Este estudio realiza una aproximación a las pérdidas sufridas por los incendios con valor de mercado para la Región del Biobío, considerando que los eventos registrados hasta la fecha alcanzan los us \$ 2.200 millones. Estos costos están principalmente relacionados con las emisiones de CO₂, excluyendo otros asociados (por ejemplo, extinción), donde es posible alcanzar cifras superiores a los us \$ 3.000 millones, lo que lleva a replantear la forma en que se aborda este problema. Por lo tanto, se hace necesario crear estrategias preventivas de recuperación o restauración que impidan que la presión del fuego degrade las funciones del ecosistema. Los conceptos relacionados con el fuego deben integrarse en la gestión forestal y territorial, fortaleciendo los vínculos con las comunidades aledañas para fines de prevención, proporcionando incentivos que prioricen la vegetación nativa sobre la comercial, basado en las funciones del bosque nativo, que puede evaluarse en oposición a las pérdidas de los servicios ecosistémicos evaluados en este estudio. Asimismo, si bien están en desarrollo normativas direccionadas a la prevención, extinción de siniestros y recuperación de bosques, aún no hay claridad en materia aplicable de incendios.

PALABRAS CLAVE: fuego, bosque nativo, plantaciones forestales, emisiones CO₂, madera.

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales han sufrido una acelerada transformación como resultado de diversas actividades humanas (Costanza *et al.*, 1997). Fenómenos como la deforestación, la minería, la agricultura, el cambio climático, la desertificación y el aumento de las plantaciones e incendios forestales, han puesto en riesgo a diversos ecosistemas y las comunidades biológicas que los sustentan (Vidal *et al.*, 2013), que provocan cambios importantes en la dinámica que rige el funcionamiento de los ecosistemas, actuando como agentes modificadores a escala local y global (Hobbs & Harris, 2001).

En Chile, la superficie de áreas degradadas debido a la deforestación para uso agrícola ha dado paso a las plantaciones forestales con una expansión posterior, inclusive, sobre áreas de bosque

nativo, que ha traído importantes beneficios económicos (González-Cabán, 2008), pero con serias contradicciones ambientales. En el Día Mundial de la Lucha contra la Desertificación y la Sequía, fue plantado, en los jardines del Congreso Nacional, un ejemplar de Toromiro (*Sophora toromiro*), legendaria especie endémica y extinta de Isla de Pascua por lo cual la Corporación Nacional Forestal (CONAF) mantiene un huerto clonal, con el objetivo de controlar la erosión en Rapa Nui. Curiosamente, la pérdida de esta singular especie tiene su origen en los primeros incendios que provocaron la pérdida de suelo y desertificación de la isla, hace más de 50 años (Espejo & Rodríguez, 2013).

Los programas de forestación con vegetación nativa son menos intensos y muchos de ellos se ven continuamente afectados por incendios forestales que se originan en las plantaciones exóticas. Un caso emblemático, durante el verano de 2012, fue el incendio forestal que consumió 32 mil hectáreas en el sector de Quillón y avanzó hacia el cerro Cayumanqui (seis cóndores, en Mapudungún), último patrimonio de bosque nativo autóctono de la Región del Biobío. Este incendio, junto al ocurrido en Concepción el 2014, que avanzó hacia la última reserva costera de bosque caducifolio de Nonguén, dejaron importantes enseñanzas: las plantaciones de especies exóticas se queman muy rápido y distribuyen el fuego como verdaderos corredores de expansión, mientras que los bosques nativos tardan más en quemarse, actuando como cortinas de protección periféricas que impiden la penetración del fuego hacia el interior.

Los incendios forman parte de la dinámica de la naturaleza (Mataix-Solera *et al.*, 2007). En este sentido, Flannigan *et al.* (2003) señalan que los incendios de baja intensidad promueven la vegetación herbácea, incrementan la disponibilidad de nutrientes, diversifican el paisaje e influyen positivamente sobre distintos procesos físicos y biológicos. Pero la realidad es que los sistemas naturales ya no están afectados por incendios de pequeño impacto, dado que la mayor parte de la superficie vegetal vecina, o que los rodea, está formada por plantaciones forestales, que acumulan una importante carga de combustible, susceptible de ser afectadas por fuegos catastróficos.

En dichas condiciones, cualquier incendio será de alta intensidad, originándose lo que se conoce como *tormenta de fuego*, que crea su propio ambiente de temperatura, humedad y viento, de características impredecibles, haciendo muy difícil cuantificar sus consecuencias sobre los recursos naturales afectados.

En Chile, la percepción de los bosques como productores de leña y madera ha limitado la valoración real de los bosques nativos en otros aspectos, lo que, unido a las políticas económicas productivistas, ha llevado a favorecer el crecimiento del sector forestal (Lara *et al.*, 2010a). La consecuencia ha sido una creciente degradación y pérdida de extensas superficies de bosque nativo, sustituido por especies de rápido crecimiento, que ha desencadenado impactos sociales y ambientales negativos (Lara *et al.*, 2010b). Muchos proyectos desarrollados para controlar la erosión se sustentan en plantaciones exóticas, sin claridad sobre cómo el cambio de uso del territorio afecta a los servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y captura de CO₂.

Este trabajo revisa la incidencia y las consecuencias de los incendios forestales en Chile, con especial referencia a la Región del Biobío. Busca específicamente: 1) revisar los principales efectos de los incendios en diferentes ecosistemas, 2) comparar los servicios de los ecosistemas proporcionados por las plantaciones forestales y bosques nativos, 3) cuantificar las pérdidas en el mercado de algunos servicios de los ecosistemas, 4) llevar a cabo una primera aproximación a la economía de los daños derivados de la pérdida de los bienes y servicios de estos ecosistemas y, 5) revisar de manera sucinta la normativa aplicable y la que se discute actualmente en el Congreso Nacional en materia de incendios.

2. METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

El área de estudio corresponde a la Región del Biobío, localizada en el límite sur de la zona central de Chile (36°00'-38°30' de latitud sur). Cuenta con una superficie de 37.046,9 km², que representan

el 4,2% del territorio nacional. Gran parte de la superficie de esta región corresponde a la cuenca del río Biobío, base natural de uno de los más importantes polos de desarrollo económico del país. Los sectores productivos más relevantes y dinámicos corresponden al sector forestal (incluye celulosa y papel), agropecuario, industrial (metalúrgicas, químicas, refinería del petróleo y textiles) e hidroeléctrico, que aporta la principal fuente energética del país. La región se caracteriza por un clima templado de carácter mediterráneo frío, que alberga 2.052.982 ha de bosques. En su extremo norte, permite la existencia de árboles como el espino, asociado con *Peumus boldus* (Mol.) (Boldo), *Cryptocarya alba* (Mol.), Peumo y *Quillaja saponaria* (Mol.) (Quillay). Hacia el sur se encuentran restos de bosques esclerófilo, donde los cambios producido por las plantaciones forestales de pinos y por cultivos agrícolas son más evidentes (BCN, 2010).

2.2 Aproximación metodológica

La información sobre incremento de las plantaciones forestales a nivel nacional y regional (Región del Biobío), durante las últimas tres décadas, y su relación con los registros de incendios forestales fue reunida a partir de las bases de datos que posee la Corporación Nacional Forestal (CONAF), Corporación de la Madera (CORMA) e Instituto Forestal (INFOR). Los datos obtenidos fueron correlacionados (Pearson) y graficados mediante el software SigmaPlot v.11.0 (Systat Software, Inc.).

Asimismo, se realizó una identificación comparativa de los servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques nativos y las plantaciones forestales mediante una revisión bibliográfica, dado que no existen estudios cuantitativos al respecto. En especial se valoran los servicios de regulación (emisiones de CO₂) y pérdidas del servicio de abastecimiento (suministro de madera y energía), siguiendo a Valero *et al.* (2007), asumiendo que la biomasa disponible para combustión corresponde a la suma de la biomasa aérea y biomasa de raíces (información disponible en informe de la ODEPA, 2010) y

considerando los datos de eficiencia de combustión para estudios en climas mediterráneos (Valero *et al.*, 2007).

2.2.1 Cálculo de pérdida del servicio de regulación: emisiones de CO₂

$$L_{\text{fuego}} = A * MB * G_f * G_{ef} * 10^{-3} [1]$$

Donde:

L_{fuego} : cantidad de emisiones de gas (toneladas de CO₂)

A: área quemada (ha)

MB: masa de combustible disponible para la combustión (tonelada por ha de materia seca). Se incluyen todas las fracciones: biomasa, residuos o madera muerta

G_f : Factor de combustión adimensional (0,45)

G_{ef} : factor de emisión en g/kg de materia seca quemada (1569 g/Kg)

Con la finalidad de dimensionar económicamente las emisiones de CO₂ a la atmósfera, las cifras fueron homologadas a valores monetarios (US \$), de acuerdo con lo establecido por el mercado de emisiones de CO₂, (diciembre de 2016; us \$ 6,35 t CO₂, www.sendeco2.com/es/precio_co2.asp?ssidi=1).

Del mismo modo, asumiendo que una plantación o bosque maduro puede alcanzar una relación entre el O₂ liberado y el CO₂ fijado de 1,2 (Brower *et al.*, 1990), fue posible cuantificar la pérdida de retención de CO₂/ha como consecuencia de los incendios ocurridos durante la temporada 2015-2016 en la Región del Biobío, para cuatro escenarios, siguiendo la clasificación de edades de las plantaciones forestales establecidas en el catastro de CONAF.

También se evaluó la pérdida de la capacidad futura de captación de CO₂ para las áreas afectadas, para lo cual se estimó la cantidad de carbono que se hubiera capturado a nivel nacional por las plantaciones, sin la ocurrencia de incendios forestales. Estos cálculos se sintetizaron utilizando el total de la superficie afectada, multiplicando por el valor de captura de CO₂ de cada especie (*E. globulus* y *P. radiata*) (Gayoso & Guerra, 2005; Gayoso, 2002), lo

que también permitió una valoración económica de acuerdo con los valores fijados por el mercado de emisiones ya indicados.

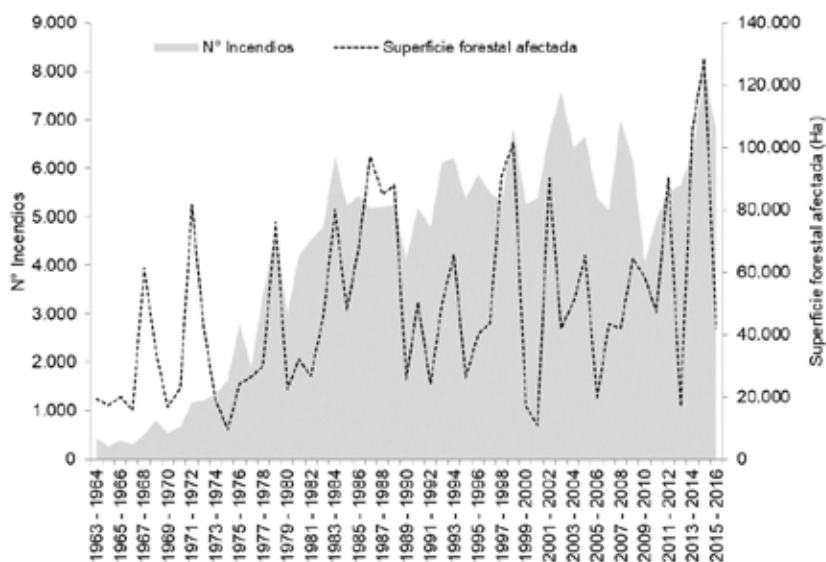
2.2.2 Cálculo de la pérdida en el servicio abastecimiento: materia y energía

Para calcular las pérdidas de biomasa como fuente productora de energía, se utilizaron los datos de superficie afectada por incendios y los datos de biomasa disponible para combustión, siguiendo la metodología propuesta por Valero *et al.* (2007), obteniendo un valor aproximado, puesto que no necesariamente toda la biomasa quemada puede ser extraída para uso energético. A este valor de biomasa se aplicó un factor de corrección, que en ambientes mediterráneos corresponde a 0,17 tep (tonelada equivalente de petróleo) (Nuñez *et al.*, 2004). Finalmente, y de acuerdo con el valor promedio del barril (us \$ 44,05) otorgado por la Agencia Internacional de Energía 2016, se calculó el valor de biomasa quemada.

3. RESULTADOS

Chile posee alrededor de 75 millones de hectáreas de vegetación vulnerable a incendios, entre praderas y matorrales (41.200.948 ha, 59,5%), bosque nativo (14.316.822 ha, 33,2%) y plantaciones (2.369.562 ha, 7,3%), siendo las especies más cultivadas *Pino radiata* (D. Don) (58,4%), *Eucaliptus globulus* (Labill.) (24,1%) y *Eucaliptus nitens* (Maiden) (10,8%) (INFOR, 2016). En promedio, 57 mil ha se queman anualmente en unos 5.767 incendios forestales. Su ocurrencia afecta tanto al bosque natural como a las plantaciones forestales y presenta importantes fluctuaciones a partir de 1964, desde cuando se disponen datos oficiales de CONAF (figura 1). La superficie quemada ha aumentado un 96,4% en la serie analizada, aunque el número de incendios fluctúa considerablemente de un año a otro, obteniéndose los valores máximos en el período 2014-2015 (8.048 incendios) y los mínimos durante los años 1964-1965 (269 incendios).

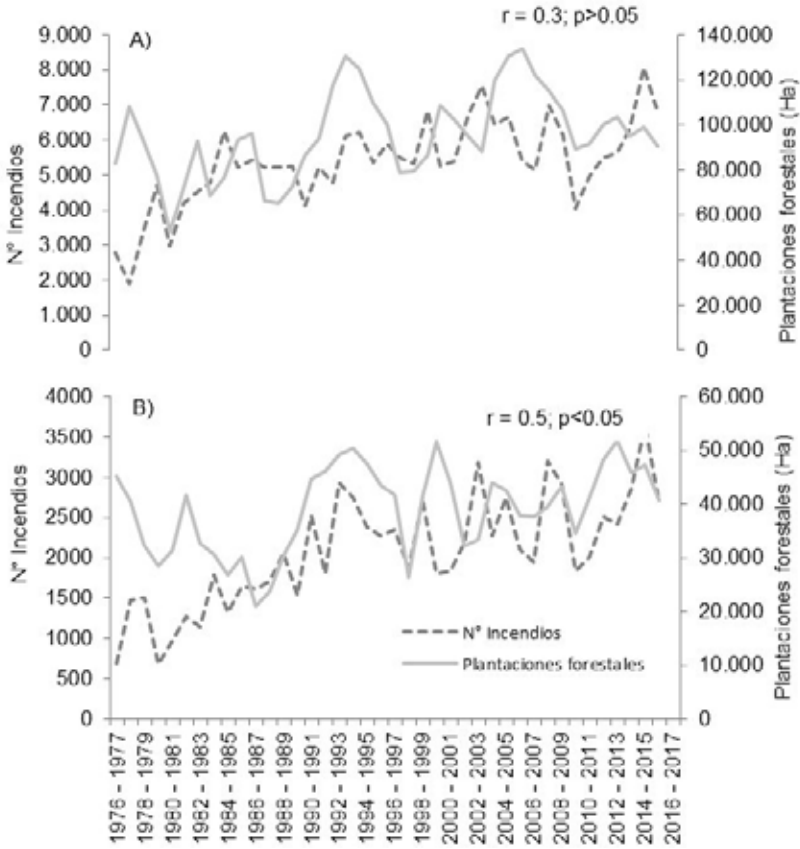
FIGURA 1. NÚMERO DE INCENDIOS Y SUPERFICIE FORESTAL AFECTADA A NIVEL NACIONAL



Fuente: elaboración propia con datos de CONAF, 2016

La figura 2A muestra las diversas fluctuaciones ocurridas a lo largo de los años entre el número de incendios y las plantaciones forestales a nivel nacional. Sin embargo, también se ha observado una relación positiva entre estas dos variables, más significativa en la Región del Biobío ($r=0.5$; $P<0,05$) (figura 2B). Así, dicha región concentra la mayor cantidad de superficie con plantaciones forestales (38%), dominando el monocultivo de *Pinus radiata* (711.358 ha), cuya superficie quemada ascendió, en los últimos cinco años, a 384.067 ha.

FIGURA 2. A) NÚMERO DE INCENDIOS VERSUS NÚMERO DE PLANTACIONES FORESTALES OCURRIDOS A LA FECHA A NIVEL NACIONAL; B) NÚMERO DE INCENDIOS VERSUS NÚMERO DE PLANTACIONES FORESTALES OCURRIDOS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO



Fuente: elaboración propia con datos de CONAF, 2016

3.1 Servicios ecosistémicos: un análisis comparativo

Los bosques nativos son importantes productores de servicios ecosistémicos (Campos *et al.*, 2005; MEA, 2005) expresados en diversos bienes (leña, maderas, frutas, plantas medicinales, animales, etcétera). También cumplen funciones de regulación, menos

conocidas y valoradas, estabilizando suelos, regulando flujos de agua y nutrientes, purificando y filtrando el agua, regulando el clima local, descomponiendo materia orgánica y previniendo peligros naturales (tabla 1). Conforme crecen, absorben el carbono de la atmósfera almacenándolo en sus tejidos y en los suelos, reduciendo la tasa de acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera y mitigando el calentamiento global. Además, ayudan a moderar el cambio climático a escala local regulando los patrones de precipitación. Menos estudiados, pero igualmente importantes, son los servicios culturales que ofrecen (caza, observación del paisaje, fauna, caminatas, etcétera), actividades que contribuyen al bienestar humano.

TABLA 1. VALORACIÓN CUALITATIVA DE ALGUNOS SERVICIOS
 ECOSISTÉMICOS PROPORCIONADOS POR BOSQUES NATIVOS
 Y PLANTACIONES FORESTALES

TIPO DE SERVICIO	SERVICIO	BOSQUE NATIVO	PLANTACIÓN FORESTAL
Abastecimiento	Alimentos	(+)	
	Madera, combustible y fibra	(++)	(+++)
	Recursos genéticos	(+++)	(+)
	Bioquímicos, medicinas naturales, farmacéuticos	(+++)	(+)
	Agua fresca	(+++)	(+)
Regulación	Regulación de calidad de aire	(+++)	(++)
	Regulación climática	(+++)	(++)
	Regulación del agua (flujos hidrológicos)	(+++)	(+)
	Purificación del agua y tratamiento	(+++)	(+)
	Regulación de la erosión	(+++)	(+)
	Regulación de enfermedades	(+++)	
	Regulación de plagas	(+++)	
	Polinización	(+++)	

TIPO DE SERVICIO	SERVICIO	BOSQUE NATIVO	PLANTACIÓN FORESTAL
Regulación	Regulación de desastres naturales	(+++)	(++)
Culturales	Beneficios espirituales, culturales y religiosos	(+++)	(+)
	Belleza escénica y estética	(+++)	(+)
	Recreación y ecoturismo	(+++)	(+)

(+) = baja contribución, (++) contribución intermedia; (+++) = contribución alta

Fuente: Daily, 1997; Campos *et al.*, 2005; MEA 2005

Por el contrario, las plantaciones forestales proporcionan un único servicio ecosistémico de abastecimiento (madera y celulosa), por lo que suelen estar dominados por una o pocas especies de árboles y manipulados para maximizar la producción maderera. Como consecuencia, se produce una homogenización del paisaje, una disminución de la diversidad florística y estructural y una pérdida de su valor como reservorio genético. Mantener este servicio requiere importantes cantidades de agua (Little *et al.*, 2009). No obstante, también son contenedores temporales de carbono (debido al rápido crecimiento de los árboles) y pueden ayudar a mitigar el cambio climático cuando son manejados apropiadamente (Guariguata, 2009).

Equiparar el ecosistema bosque con las plantaciones forestales exclusivamente con relación a sus precios de mercado, ha llevado a tomar decisiones erróneas en la gestión del territorio, con la consecuente pérdida del valor de proveer otros servicios ecosistémicos, que proporcionan los bosques nativos, no son percibidos por la mayor parte de la sociedad y muchos de ellos no valorables en términos económicos (Costanza *et al.*, 1997; Nahuelhual *et al.*, 2007).

3.2 Efectos ambientales asociados a los incendios forestales

Dependiendo de la intensidad, duración y frecuencia, el fuego ejerce una gran influencia sobre la disponibilidad de recursos naturales y los ecosistemas (DeBano *et al.*, 1998). Comprender sus efectos

en los distintos compartimentos ambientales es clave para evaluar el costo ambiental, económico y social de las pérdidas que implican los incendios forestales (Mills y Flowers, 1985). En este sentido, la información en Chile —en específico, en la Región del Biobío— es escasa, dispersa y en muchos casos no ha sido evaluada, a pesar de que dicha región es reconocida como un *hot spot* de diversidad a nivel mundial (Myers *et al.*, 2000; Figueroa *et al.*, 2013). De hecho, en el Cuarto Informe de la Estrategia Nacional de Biodiversidad del año 2009 se reconoce que estas áreas no se encuentran aseguradas en la actual regulación; por su parte, en el Quinto Informe, del año 2014, se reconoce que las áreas consideradas como *hot spot* no están representadas en el sistema de áreas protegidas del país. Asimismo, el proyecto que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Silvestres Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (Boletín 9404-12/2014) no contempla regulación especial para ellos. Sin embargo, establece como objeto el «asegurar la conservación de la biodiversidad en el territorio nacional, especialmente en aquellos ecosistemas de alto valor ambiental o que, por su condición de amenaza o degradación, requieren de medidas para su conservación», por lo tanto, debería propender al reconocimiento de los *hot spot* como áreas proveedoras de servicios ecosistémicos, que constituye el eje central del proyecto de ley citado.

Por otra parte, las nueve categorías de protección se aplicarán a los ecosistemas según sean los servicios que estos provean. Además, crea figuras especiales de infracciones y daño ambiental, cuando se afecten los servicios ecosistémicos, y permitiría al infractor presentar planes de reparación, asumiendo los costos en que se incurra para su implementación (Delgado, 2014). Algo que, de hecho, ya es una herramienta que utiliza la Superintendencia del Medio Ambiente a través de los planes de cumplimiento.

En lo preventivo, es inquietante que desde la creación del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en Chile (1998), nunca se hayan evaluado los impactos ambientales y sociales asociados a las plantaciones forestales, ni se han implementado medidas de mitigación, reparación o compensaciones que pudieren asociarse

(como podrían ser bordes de protección), pues en la práctica se elaboran proyectos de dimensiones inferiores a las consideradas en el Reglamento del SEIA como de ingreso obligatorio. Nada ha hecho el Estado para modificar esta situación, más aún cuando solo se requiere un simple cambio por decreto supremo al Reglamento para disminuir los riesgos de incendios.

3.3 Efectos sobre el suelo y sistemas acuáticos

Los cambios que los incendios ocasionan en el suelo y sus componentes han sido ampliamente documentados (Brown, 1972; González-Pérez *et al.*, 2004), aunque escasamente referidos a Chile. Estos trabajos señalan un aumento considerable de la escorrentía superficial, sobre todo durante lluvias intensas, producto de la formación de una costra hidrófuga en el suelo (DeBano, 1971) que aumenta la erosión y la cantidad de materia orgánica disponible, que puede llegar a los cursos de agua afectando, en primera instancia, su química, donde los componentes del humo y la ceniza tienen una influencia sustancial. Clayton (1976) indicó que las concentraciones de calcio, magnesio, potasio, sodio y nitrógeno total que arrastran las precipitaciones tras los incendios, fueron entre 20 y 70 veces mayores que en períodos normales. Igualmente, Spencer y Hauer (1991) vincularon la presencia de amonio en las aguas superficiales con la volatilización del nitrógeno presente en los gases del humo, y asocian la presencia de fósforo al lixiviado de cenizas depositadas directamente en los cursos de agua, tras las precipitaciones.

Asimismo, la entrada de nutrientes y sólidos suspendidos a los cuerpos de agua puede resultar tóxico para muchas especies acuáticas o provocar eutrofización, modificando la dominancia de diversos grupos algales (Holopainen & Huttunen, 1992). La mortandad de organismos acuáticos no es uniforme (Sedell *et al.*, 1990), pues depende de factores como la magnitud e intensidad del fuego, toxicidad química del humo o la ceniza, cambios en la química del agua y el uso de retardantes de llama. Para el caso de los macroinvertebrados bentónicos, se han descrito importantes cambios

en los grupos funcionales (Oliver *et al.*, 2012). Tras el incendio, las temperaturas elevadas del agua por pérdida de vegetación ribereña alteran la abundancia, diversidad, períodos de incubación de huevos y supervivencia de algunas crías (Reeves *et al.*, 1993).

Por otro lado, el calentamiento del suelo produce variaciones en algunas de sus propiedades físicas y químicas (Beschta, 1990). En este sentido, se han documentado aumentos en el pH y conductividad eléctrica debido al aporte de carbonatos, cationes básicos y óxidos procedentes de las cenizas, además de un considerable aporte de iones y nutrientes (Ca, Mg, K, Na, P), responsables del crecimiento de diversas especies rebrotadoras o germinadoras (Kutiel & Naveh, 1987). Así, el fuego, al destruir la cubierta vegetal, afecta negativamente a los servicios de regulación relacionados con la fertilidad del suelo.

3.4 Efectos en la atmósfera (emisiones de CO₂)

Uno de los principales servicios ecosistémicos que proporcionan los bosques naturales es su capacidad de almacenamiento de carbono, la cual contribuye a amortiguar los efectos del cambio climático. Sin embargo, una de las principales consecuencias de los incendios forestales es el aumento de la contaminación del aire y emisiones de CO₂ hacia la atmósfera, contribuyendo al efecto invernadero. Esta contaminación atmosférica se debe a la emisión de gases como NH₃, N₂O, NO y NO_x, hidrocarburos sólidos, líquidos y gaseosos, aldehídos como formaldehído, acroleína, ácido fórmico y otras pequeñas partículas no identificadas en su totalidad (Johnston *et al.*, 2012). Además de partículas de carbón y cenizas, son fuentes naturales de elementos traza liberados y transportados hacia la atmósfera, partículas de tamaño medio (5-10 μ de diámetro) que pueden permanecer suspendidas en la atmósfera hasta ser lavadas por la lluvia; mientras que las menores de 2-3 μ penetran profundamente en los pulmones, afectando a la salud humana.

Las emisiones de CO₂ han sido cuantificadas en distintos incendios del mundo, pero en Chile no existen estudios de esta índole.

Al respecto, los resultados globales a nivel nacional, para todas las edades de las plantaciones forestales afectadas por incendios entre 1984 y 2016 (tabla 2), muestran que se han emitido a la atmósfera más de 37 millones de toneladas (t) de CO₂ (us \$235 millones), de las cuales, el 53% (19.470.966 t) provienen de los incendios ocurridos en la Región del Biobío (us \$121 millones). En relación a los escenarios de edades propuestas (tabla 3), la cuantificación por pérdida de retención de CO₂ evidencia que el escenario más crítico corresponde a las plantaciones de 23 años de pino (E3), que, debido a la mayor frecuencia de incendios, aporta en promedio más CO₂, con un balance negativo de liberación de O₂ (ca.: - 145 Mg ha⁻¹ año).

En términos de las pérdidas de capacidad de captura de CO₂ entre 1985 y 2016 (23 años, tabla 3), los valores a nivel nacional corresponden a 200 millones ton de CO₂ (cálculo sin considerar la quema de bosque nativo), equivalente a us \$1.270 millones en precios de derecho de emisión. Del mismo modo, a nivel regional, la cantidad de emisiones corresponden a 105 millones ton de CO₂, equivalen a us \$667 millones. Respecto de la superficie de bosque nativo quemado, existe escasa información, conociéndose para Chile los estudios realizados por la Universidad Austral en el marco del Global Carbon Project (<http://www.uach.cl/procarbono/documentos.html>), que estima que la cantidad de carbono almacenado, en promedio, durante toda la vida de *Quercus robur* (L.) y *Araucaria araucana* ((Molina) K. Koch.), corresponden a 560 y 680 t de CO₂ por árbol, respectivamente.

TABLA 2. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO₂ DE LAS PLANTACIONES FORESTALES A CAUSA DE INCENDIOS FORESTALES, A PARTIR DEL ESTUDIO DE VALERO ET AL. (2007) Y DATOS DE LA CONAF

	Tipo de plantación	Área quemada (ha)			MB (t ha ⁻¹)			L _{fuego} (t CO ₂)
		0-10 años	1-17 años	>18 años	0-10 años	11-17 años	>18 años	
Nacional	<i>E. globulus</i>	-	106 489	-	-	150	-	11 272 268
	<i>P. radiata</i>	80 019	129 864	78 388	24	162	172	25 729 535
	Total (1984-2016)							37 001 803
Región del Biobío	<i>E. globulus</i>	-	42 856			150		4 536 462
	<i>P. radiata</i>	32 508	87 198	36 322	24	162	172	14 934 504
	Total (1984-2016)							19 470 966

MB: masa de biocombustible disponible, L_{fuego}: cantidad de emisiones de gas

TABLA 3. CANTIDAD DE CO₂ EMITIDO POR SUPERFICIE AFECTADA POR INCENDIOS FORESTALES (TEMPORADA 2015-2016, REGIÓN DEL BIOBÍO) Y PÉRDIDA DE CAPACIDAD DE CAPTURA DE CO₂ PARA LOS PERÍODOS 1984-2016

Escenario	Acumulación de CO ₂ (t ha ⁻¹)	Liberación de O ₂ (t ha ⁻¹)	Superficie afectada (ha)	CO ₂ emitido (t)	CO ₂ emitido (t ha ⁻¹)	O ₂ perdido (t ha ⁻¹) (*)
E1 (<i>P. radiata</i> 7 años)	90.51	108.68	521.51	8 780	16.84	-20.16
E2 (<i>P. radiata</i> 16 años)	614.64	737.57	416.89	47 659	114.32	-137.19
E3 (<i>P. radiata</i> 23 años)	654.06	784.87	324.00	39 415	121.65	-145.98
E4 (<i>E. globulus</i> 11 años)	581.15	697.38	1 127.16	119 313	105.86	-127.08
Pérdida de capacidad de captura de CO ₂		<i>Eucalyptus</i> sp. (t CO ₂)		<i>Pinus radiata</i> (t CO ₂)		Total (t CO ₂)
Nacional	(1984-2016)	61 886 455		138 334 424		200 220 879
Regional	(1984-2016)	24 905 861		80 295 117		105 200 978

(*) La pérdida de O₂ ha⁻¹ corresponde a la cantidad en tonelada (t) de O₂ que no fue fijado por la plantación debido a la quema
 Para la pérdida de captura de CO₂ se consideran datos de todos los escenarios entre los años 1984-2016

Fuente: Gayoso y Guerra, 2005; Gayoso, 2002

3.5 Pérdida del servicio de abastecimiento: madera versus energía

Chile es un país que sustenta parte de su economía exportando alrededor del 70% de lo que produce, destacando la celulosa, trozos de madera para aserrar, pulpa y madera aserrada, casi exclusivamente de *P. radiata*. Asimismo, el aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía toma cada vez más importancia en la misma industria forestal que la requiere. En este sentido, si consideramos la biomasa quemada a causa de los incendios forestales en la Región del Biobío, y se cuantifica como biomasa productora de energía, obtendríamos un total de 27,6 millones t de materia seca disponible para combustión (valor aproximado, puesto que no necesariamente toda la biomasa puede ser extraída para uso energético) (tabla 4). Aplicando el valor de corrección 0,17 tep (Nuñez *et al.*, 2004), el poder energético de la biomasa total ascendería a 4,6 millones de tep que, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, implica que el poder calorífico perdido durante la temporada 1984-2016 ascendería a 33 millones de barriles de petróleo. A un valor promedio del barril de us \$ 44,05, la pérdida de biomasa alcanzaría los us \$ 1444 millones.

TABLA 4. ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA EN PLANTACIONES FORESTALES QUEMADAS EN LA REGIÓN DEL BIOBÍO (1984-2016)

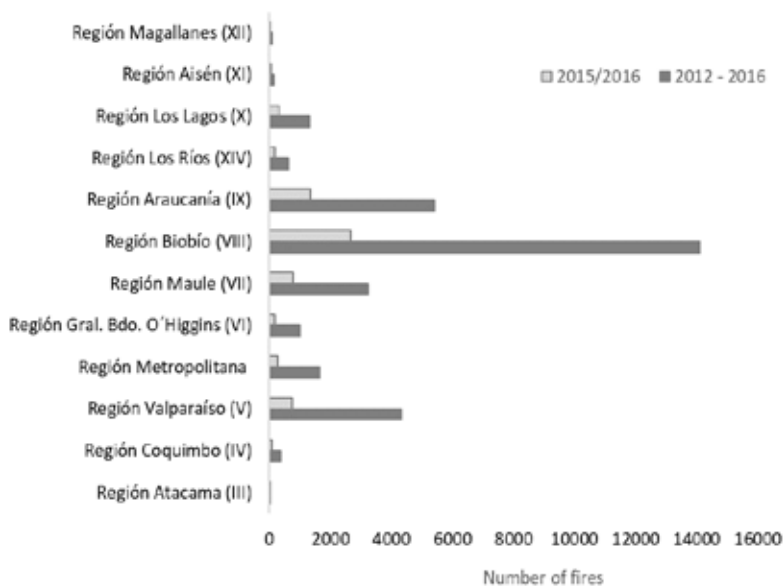
	Superficie afectada (ha)			Biomasa disponible combustión (ton/ha)			Biomasa total (ton/ha)			Total
	0-10 años	11-17 años	>18 años	0-10 años	11-17 años	>18 años	0-10 años	11-17 años	>18 años	
<i>Pinus radiata</i>	32 508	87 197	36 321	24	162	172	775 160	14 118 642	6 258 137	21 151 939
<i>Eucalyptus globulus</i>	-	42 856	-	-	150	-	-	6 425 108	-	6 425 109
									Total	27 577 048

Cálculos realizados según lo propuesto por Valero *et al.* (2007)

4. DISCUSIÓN

La ocurrencia de incendios forestales se concentra principalmente en las zonas de clima mediterráneo, desde la Región de Valparaíso hasta la del Biobío, y aunque la accidentalidad del terreno aumenta su extensión y peligrosidad, también ha estado vinculada a la intencionalidad y a diversos conflictos sociales con comunidades indígenas. Los registros de la CONAF indican que la mayor ocurrencia de incendios forestales se da en las regiones del Biobío y la Araucanía (figura 3), donde el 58% de los bosques son plantaciones forestales (INFOR, 2016). Los incendios en estas regiones son favorecidos por la gran concentración de población cercana, la accesibilidad a las áreas forestadas y por la cantidad de material seco de los desechos derivados del manejo intensivo, generando un fuerte impacto económico, social y ambiental (Peña-Fernández & Valenzuela-Palma, 2004).

FIGURA 3. NÚMERO DE INCENDIOS FORESTALES OCURRIDOS A NIVEL REGIONAL, DURANTE EL ÚLTIMO QUINQUENIO (2012-2016) Y EL ÚLTIMO AÑO



Fuente: elaboración propia con datos de CONAF, 2016

Según el Laboratorio de Incendios Forestales de la Universidad de Chile (julio, 2014), las pérdidas directas asociadas a los incendios forestales en Chile durante el período 1989-2013 ascendieron a 70 millones de dólares. Sin embargo, no existe un registro de los efectos indirectos (impactos sobre la biodiversidad, pérdida de recursos hídricos, procesos de erosión, pérdida de la fertilidad de suelos, impactos sociales y económicos). Al margen de los impactos sobre el medio natural (masa vegetal, fauna) e indirecta (alteración del ciclo hidrológico, pérdida de sitios de recreación), hay que señalar los daños producidos sobre las personas y sus hogares, como quedó demostrado en el incendio de Quillón (enero de 2012), cuyas pérdidas se evaluaron en más de us \$ 3.400 millones, sin considerar vidas humanas y las pérdidas del sector turístico.

En los últimos 30 años, Chile ha reconocido daños que bordean los 100 millones de dólares en pérdidas directas (Urzúa & Cáceres, 2011). Sin embargo, durante el mismo período, el gasto en la extinción de incendios fue del orden de us \$ 660 millones, de los cuales us \$ 150 millones (22,7%) se invirtieron solo en el período 2012-2013 (CONAF, 2014). El 70% de los incendios que extinguieron las brigadas de las ocho grandes forestales presentes en la Región del Biobío (Arauco, Mininco, Masisa, AnChile, Bosques Cautín, Volterra, Tierra Chilena y Río Itata) ocurrieron en áreas fiscales, es decir, fuera de sus respectivos terrenos. En la temporada 2012-2013 en Chile se quemaron 17.109 hectáreas, de las que solo 2.566 (17%) fueron propiedad de las empresas forestales. Las restantes correspondieron a terrenos fiscales y de pequeños propietarios. Esta tendencia se ha mantenido inalterable durante las dos últimas décadas (CONAF, 2014).

El Estado, a través de la CONAF, tiene la obligación legal de combatir los incendios forestales en todo el territorio nacional, cubriendo 15,6 millones de hectáreas entre bosques nativos y plantaciones forestales. Durante el 2016 el presupuesto destinado a ello fue de us \$37,8 millones (us \$32,8 millones correspondientes al programa de manejo de fuego y otros us \$5 millones aportados por el Ministerio del Interior), lo que supone tan solo us \$2,5 por hectárea para

controlar el fuego en todo el territorio nacional. Sin embargo, en los terrenos de las grandes plantaciones forestales estos recursos se complementan con inversión privada, de US \$35 por cada hectárea de su propiedad (CORMA, 2014). Dado que las plantaciones totales de las ocho grandes forestales existentes en la Región del Biobío ascienden a 1,4 millones de hectáreas, el control del fuego cuesta, a esas empresas, más de US \$48 millones al año.

Estudios desarrollados por Lara *et al.* (2009) señalaron la importancia de diferenciar el bosque nativo de las plantaciones forestales en términos de provisión de servicios ecosistémicos, especialmente en la relación superficie / producción de agua (caudal / precipitación), dado que la vegetación nativa tiene la capacidad de almacenar durante las épocas de lluvias y liberarla durante las más secas, contrario a lo que ocurre con las plantaciones de eucalipto y pino caracterizadas por su alta evapotranspiración (Huber *et al.*, 2008). Así pues, mantener bosques nativos resulta una herramienta de gestión fundamental para retardar el avance del fuego en aquellas regiones donde el aumento de la temperatura y las sequías incrementarían los riesgos de incendios forestales. La ocurrencia de incendios también constituye una importante oportunidad de restauración ecológica, acelerando las sucesiones vegetales naturales y la recuperación de sistemas degradados. En Chile, la restauración ecológica está influenciada básicamente por procesos de forestación (en sitios sin actividad forestal previa) y reforestación (en sitios con explotación extractiva). De acuerdo con datos proporcionados por la CONAF (2013), la reforestación posincendio representa el 10,6% del coste de la restauración total de los ecosistemas.

Al respecto, la superficie total forestada en la Región del Biobío durante el año 2016 fue de 461,1 ha, correspondientes al 19% de la superficie total forestada en el país. La forestación se realizó utilizando plantas de 12 especies: siete exóticas: *Eucalyptus camaldulensis* (D_{EHNH}), *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus* sp., *Pinus radiata*, *Populus alba* (L.) y *Populus* sp. y cinco nativas: *Acacia melanoxylon* (R.B_R), *Lomatia hirsuta* (Lam), *Nothofagus alpina* ((P. et E). Oerst), *Psedotsuga menziesii* (Mirb.), *Quillaja*

saponaria (Molina), de las cuales, un 46,8% correspondió a *P. radiata* y un 28,4% a *E. globulus*. La forestación con especies nativas tan solo alcanzó una superficie de 97 ha (1,6%), siendo la especie más representativa *Quillaja saponaria* (59,31%). Por otro lado, la reforestación alcanzó 46.236,20 ha (el 48,1% de la nacional). La cantidad de plantas se estimaron en casi 40 millones repartidas en 10 especies (siete exóticas y tres nativas). Considerando estos datos, la Región del Biobío prioriza la restauración con especies exóticas, obviando la importancia del bosque nativo como ecosistemas de alto valor ambiental y paisajístico, y su capacidad de actuar como barrera natural frente a la propagación del fuego. De igual modo, sorprende que una especie típica de secano como lo es el quillay, sea la más exitosa y probablemente esté compitiendo con las plantaciones forestales por el recurso hídrico.

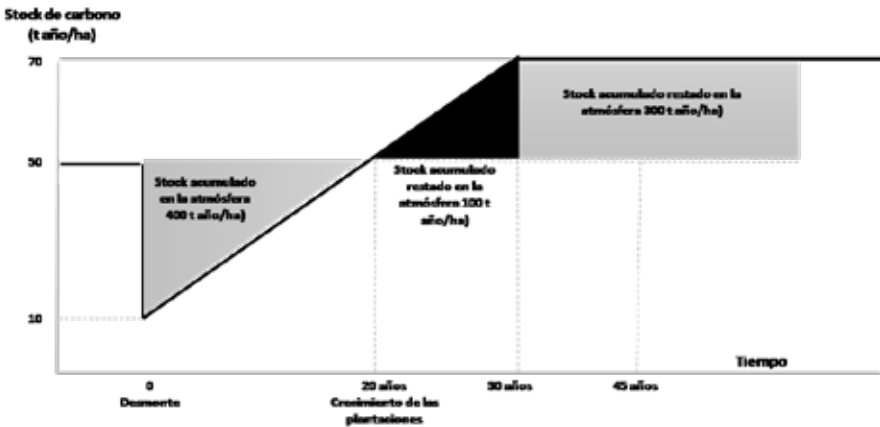
En este sentido, Lara *et al.* (2010b) plantearon la necesidad de realizar modificaciones a la Ley de Bosque Nativo y Decreto Ley 701, sugiriendo bonificaciones a las acciones de manejo, conservación y recuperación de bosques dirigidos específicamente a la producción de servicios ecosistémicos, más allá de su importancia como generadores de productos de mercado. Delgado (2014) precisa que las bonificaciones de la Ley de Bosque Nativo, además de ser de bajísimos montos, se limitan solo a ciertos y determinados servicios de aprovisionamiento (bienes) y solo a uno de carácter cultural (turismo), sin considerar servicios de regulación (ej. captura de CO₂). Además, se define a los «servicios ambientales» como aquellos que «inciden directamente en la protección y mejoramiento del medio ambiente», por lo que afirma que esta ley introduce una «definición inoperante al no establecer mecanismos o instrumentos que permitan implementar una adecuada gestión y protección de los bosques en base a este concepto».

Si bien se ha demostrado que las plantaciones forestales pueden ser un importante reservorio de CO₂, los resultados permiten cuestionar el punto de equilibrio cuando estos no llegan a su límite máximo de captura de CO₂, debido a podas y cosechas programadas (*P. radiata* cerca de 20-25 años y *E. globulus* de 10-15 años)

y al efecto de los frecuentes incendios. Por el contrario, no ocurre lo mismo con el bosque nativo, ya que, al existir una demanda más controlada de las especies, estas alcanzan mayor longevidad y acumulan mayor *stock* de CO₂ en el tiempo (Mackey *et al.*, 2008).

Locatelli & Leonard (2001) señalan que al talar un bosque que almacena 50 ton C/ha (el *stock* cae a 10 ton C/ha) y reemplazarlo por plantaciones, estas almacenarán 70 ton C/ha después de 30 años (figura 4). En términos de flujo, la operación es benéfica a partir de 20 años, ya que hubo almacenamiento de carbono. Después de 30 años, la operación contribuye a almacenar 20 ton C/ha adicionales. Pero, durante 20 años, el *stock* acumulado de carbono en la atmósfera (alrededor de 400 toneladas año/ha) contribuye negativamente al cambio climático. Después de 20 años, el *stock* acumulado en la atmósfera disminuye, siendo de 300 toneladas año/ha después de 30 años, y nulo después de 45 años.

FIGURA 4. EJEMPLO DE LA EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL STOCK ACUMULADO DE CO₂, EN PLANTACIONES FORESTALES



Fuente: Locatelli & Leonard, 2001

Por el contrario, no es posible seguir subsidiando una actividad productiva que genera pérdida o disminución de estos servicios, como la pérdida de la regulación hídrica o la disminución en la captura de CO₂, en oposición a otros planteamientos, como se estaría

haciendo mediante una nueva prórroga al Decreto Ley 701, norma cuyo objetivo principal fue la estimulación de la actividad forestal, lo que no guarda relación tampoco con los mayores compromisos internacionales que el país ha adoptado, donde la conservación, recuperación y protección de los servicios ecosistémicos producidos por el bosque nativo son de capital importancia. Por lo mismo, se le ha catalogado como un «subsidio perverso» por el último informe de desempeño ambiental que la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) emitieron sobre Chile el año 2016 y, por ello, no debiera formar parte de nuestras políticas públicas. En materia preventiva, resulta claro que las distancias consideradas en la normativa chilena, limitadas básicamente a prohibir plantaciones cerca de cursos de agua y la elaboración de cortafuegos en las plantaciones con plan de manejo, han resultado insuficientes para el resguardo de personas, viviendas y medio ambiente.

Por ello resulta necesario discutir como país un sistema efectivo para la prevención de incendios forestales y su adecuado control. En este sentido, existe una excelente oportunidad en el ingreso al Congreso Nacional de dos proyectos de ley relacionados (marzo y abril de 2017). El primero de ellos es el proyecto de ley en materia de prevención de incendios y recuperación de bosques por parte de las empresas forestales (Boletín 11.165-01), que impone a los propietarios de terrenos o explotaciones forestales el deber de colaborar de forma activa en la prevención y lucha contra los incendios forestales, en particular a adoptar las medidas para la prevención y actuación en las tareas de extinción de los siniestros (art. 1). Además, se impone la obligación de gestionar, de manera adecuada, la biomasa vegetal en una franja de 50 metros perimetral a un suelo urbano de un centro poblado rural delimitado, así como alrededor de edificaciones, viviendas aisladas y urbanizaciones, depósitos de basura, parques e instalaciones industriales, ubicadas a menos de 400 m del terreno forestal; y presentar ante la autoridad (se habla de la CONAF) un plan de mitigación del impacto en los acuíferos superficiales y subterráneos (art. 4) y medidas de reparación o restauración

si ocurren incendios. El segundo proyecto (Boletín 11.175-01), que se tramita con suma urgencia, crea el Servicio Nacional Forestal como servicio público y le impone como deber la protección contra los incendios forestales (art. 2) a través, entre otras medidas, de Planes de Prevención (art. 22 y 23). Además se propone modificar la Ley General de Urbanismo y Construcciones, imponiendo que el Plan Regional de Ordenamiento Territorial y los Planes Reguladores o Seccionales incorporen, cuando corresponda, las áreas, franjas o radios de restricción, relativos a zonas de interfaz urbano forestal previo informe favorable del Servicio Nacional Forestal, pudiendo establecer en ellas obligaciones o limitaciones a las actividades que se localicen, con el objeto de prevenir la generación o propagación de incendios forestales.

La constante presión asociada a los incendios forestales ha provocado que los ecosistemas pierdan algunas de sus funciones, siendo incapaces de suministrar la cantidad y calidad de los servicios ecosistémicos al mismo nivel. Los principales efectos en los servicios de provisión radican en la pérdida de hábitat como albergue de biodiversidad, reducción de productos maderables y no maderables, pérdida de biomasa con aprovechamiento energético. Por otro lado, algunos de los efectos en los servicios de regulación repercuten principalmente en la reducción en la capacidad de captación de carbono por la biomasa vegetal afectada y la pérdida de la calidad del suelo, producto de la erosión ocasionada por lluvias posincendio. Existen otros efectos que no han sido incluidos en este estudio y que están relacionados con la pérdida de los servicios culturales, los cuales deben ser considerados en estudios posteriores.

Las pérdidas económicas en la Región del Biobío, considerando todos los incendios ocurridos hasta la fecha, ascienden a us \$2.200 millones aproximadamente. Estos costos están principalmente relacionados con las emisiones y captación de CO₂ (tabla 5). Sin embargo, si se incluyen los costos de extinción se llega a alcanzar cifras sorprendentes, que permiten replantearse la manera en la cual se está abordando esta problemática. Como consecuencia, se hace necesaria la creación de estrategias preventivas que eviten la

constante degradación de los ecosistemas vegetales, considerando planes de recuperación y restauración eficaces para restituir los daños generados, otorgando incentivos que prioricen la vegetación nativa por sobre la comercial, buscando resaltar las funciones otorgadas por el bosque nativo, inclusive su comportamiento frente a eventos incendiarios. En este sentido, la implementación de cordones de protección lograría el desarrollo de un concepto que hemos denominado *efecto borde*, mitigando los daños sobre las comunidades, tanto humanas como naturales. Esta medida podría imponerse en los instrumentos de ordenamiento y planificación territorial mencionados y, además, en todos los planes de manejo o nuevos planes de prevención.

TABLA 5. RESUMEN DE PÉRDIDAS OCASIONADAS
POR INCENDIO FORESTALES (1984-2017)

SERVICIO	INDICADOR	NACIONAL (US \$)	REGIONAL (US \$)
Provisión	Pérdida de biomasa ^(*)		1.444.000.000
Regulación	Emisiones de CO ₂ en la atmósfera ^(*)	235.000.000	121.000.000
	Pérdida en la capacidad de captura de CO ₂ ^(**)	1.270.000	667.000.000
	Pérdidas totales	236.270.000	2.232.000.000

(*) Los valores de emisiones fueron homologados a valores monetarios (us \$) según el valor de las emisiones de CO₂ establecidas (us \$6,35 t CO₂, diciembre de 2016)

(**) Las pérdidas de biomasa se calcularon según el precio medio del barril (us \$44,05) otorgado por la Agencia Internacional de Energía (diciembre de 2016)

El debate sobre los incendios forestales debe enfocarse en las causas, pero también en la prevención y en cómo minimizar las consecuencias, desde una visión que considere otros aspectos ambientales relevantes como la falta de agua para la población y otras actividades productivas, la incertidumbre del cambio climático, los efectos de bordes y la sustentabilidad de la empresa forestal. Para ello se requieren de políticas públicas estatales tanto como de la responsabilidad social de la empresa privada, con visión de futuro.

Agradecimientos

El estudio fue financiado por el proyecto CONICYT/FONDAP/13150015(CRHIAM). Gracias al apoyo de Becas de Tesis Doctoral de la Comisión Nacional de Investigación, Ciencia y Tecnología (CONICYT).

Parte de este trabajo se encuentra aceptado en Gayana como: «CO₂ emission and biomass loss, associated to the occurrence of forest fires in the Biobío region, Chile: An approach from Ecosystem Services».

BIBLIOGRAFÍA

- Almendros, G.; González-Vila, F.J.; Martín, F. (1990) Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* No. 149, pp. 158-168.
- Barrio, M.; Loureiro, M.; Chas, M.L. (2007) Aproximación a las pérdidas económicas ocasionadas a corto plazo por los incendios forestales en Galicia en 2006. *Economía Agraria y Recursos Naturales*. Vol. 7, No. 14, pp. 45-64.
- Beschta, R.L.; Bilby, R.E.; Brown, G.W.; Holtby, L.B.; Hofstra, T.D. (1987) Stream temperature and aquatic habitat: fisheries and forestry interactions. En: *Streamside management: Forestry and Fishery Interactions*. Salo, E.O & Cundy, T.W (editores). Institute of Forestry Resources, University of Washington. Pp. 191-232.
- Beschta, R.L. (1990) Effects of fire on water quantity and quality. En: *Natural and Prescribed Fire in the Pacific Northwest Forests*. Walsad, J.D; Radosevich, S.R. & Sandberg, D.V. (editores). Oregon State University Press. Pp. 219-231.
- Bizama, G.; Torrejón, F.; Aguayo, M.; Muñoz, M.D.; Echeverría, C.; Urrutia, R. (2011) Pérdida y fragmentación del bosque nativo en la cuenca del río Aysén (Patagonia-Chile) durante el siglo xx. *Revista de Geografía Norte Grande*. No. 49, pp. 125-138.
- Bravo, H.; Sosa, R.; Sánchez, P.; Jaimes, M. (2004) El impacto de los incendios forestales en la calidad del aire. En: *Los incendios forestales en México*. Villers, L. & Blanco J. (compiladores). Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Pp. 79-97. Ciudad de México, México.
- Brower, J.; Zar, J.; Von Ende, C. (1990) *Field and laboratory methods for general ecology*. Brown Publishers. Dubuque, Estados Unidos.

- Brown, J.A. (1972) Hydrologic effects of a bushfire in a catchment in south-eastern new South Wales. *J. Hydrol.* No. 15, pp. 77-96.
- Calder, I.R.; Rosier, P.T.; Prasanna, K.T.; Parameswarappa, S. (1997) Eucalyptus water use greater than rainfall input a possible explanation from southern India. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* No. 1, pp. 249-256.
- Campos, J.J; Alpizar, F.; Louman, B.; Parrota, J. (2005) *An integrated approach to forest ecosystem services*. En: *Forests in the Global Balance Changing paradigms*. Mery, G.; Alfaro, R.; Kanninen, M.; Lobovilob, M. (editores). IUFRO World Series. No. 17, pp. 243-262.
- Castañeda-González, J.C.; Gallegos-Rodríguez, A.; Sánchez-Durán, M.; Domínguez-Calleros, P.A. (2012). Biomasa aérea y posibles emisiones de CO₂ después de un incendio, caso del bosque La Primavera, Jalisco, México. *Ra Ximhai*, Universidad Autónoma Indígena de México Mochichahui. Vol. 3, No. 8, pp. 1-15. El Fuerte, México.
- Clayton, J.L. (1976). Nutrient gains to adjacent ecosystems during a forest fire: an evaluation. *Forest Sci.* No. 22, pp. 162-166.
- Cleaves, D.A. (1985) Net value change: Issues and applications in fire management. En: *Fire Management: The Challenge of Protection and Use*. Long, J.N (editor). Utah State University. Pp. 43-61.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal (2011) *Catastro de los recursos vegetacionales nativos de Chile*. Monitoreo de cambios y actualizaciones. Período 1997-2011. Ciudad, Chile.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal (2013) *Informe técnico: plantaciones forestales efectuadas durante el año 2012*. Ministerio de Agricultura. 83 Pp. Santiago, Chile.
- CONAF, Corporación Nacional Forestal (2014) *Incendios forestales en Chile*. Ministerio de Agricultura. Chile. Disponible en: www.conaf.cl/incendios-forestales/
- CORMA, Corporación de la Madera (2016) *Anuario forestal 2016*. Pp. 21-24.
- Costanza, R.; Arge, R.; De Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'neill, R.V.; Paruelo, J.; Raskin, R.G.; Sutton, P.; Van Den Belt, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*. No. 387, pp. 253-260.
- Countryman, C.M. (1969) Project Flambeau. An Investigation of Mass Fire (1964-1967). Final Report Vol. 1. Office of the Secretary of the Army. *Review Notice*. 77 pp. Washington, Estados Unidos.
- Cummins, K.W. (1978) Ecology and distribution of aquatic insects. En: *An introduction to the aquatic insects of North America*. Merritt, R.W. & Cummins, K.W. (editores). Kendall/Hunt. Pp. 29-31. Dubuque, Estados Unidos.
- Daily, G.C. (1997) *Nature's services: Societal dependence on ecosystem services*. Island Press. Washington, Estados Unidos.

- DeBano, L.F. (1971) The effect of hydrophobic substances on water movement in soil during infiltration. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* No. 35, pp. 340-343.
- DeBano, L.F.; Near, D.G.; Folliott, P.F. (1998) *Fire's Effects on Ecosystems*. New York. John Wiley & Sons Inc. 333 pp. New York, Estados Unidos.
- Delgado, V. (2014) Servicios ecosistémicos y ambientales en la legislación chilena. *Actas de las VII Jornadas de Derecho Ambiental*. Centro de Derecho Ambiental de la Universidad de Chile. Pp. 525-554.
- Delgado, V. (2016) Breves reflexiones sobre el daño ambiental en Chile al afectarse «servicios ecosistémicos», con especial referencia a la legitimación activa de tales demandas. En: *Desarrollo sustentable. Miradas interdisciplinarias de experiencias en Chile y Brasil*. Barra R. & Rojas J. (editores). Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Pp. 51-64.
- Espejo, J.; Rodríguez, R. (2013) Antecedentes históricos en la descripción y del uso de *Sophora toromiro* (Phil.) Skottsbo. (Fabaceae) en su hábitat natural: 1770-1948. *Gayana Bot.* Vol. 2, No. 70, pp. 383-389.
- Evans, J.; Turnbull, J. (2004) *Plantation silviculture in the tropics*. Oxford University Press. Tercera edición, 467 pp. Oxford, Reino Unido.
- Figueroa, R.; Bonada, N.; Guevara, M.; Pedreros, P.; Correa-Araneda, F.; Díaz, M.E; Ruiz, V.H. (2013) Freshwater biodiversity and conservation in Mediterranean climate streams of Chile. *Hydrobiologia*. No. 719, pp. 269-289.
- Flannigan, M.D.; Stocks, B.J.; Weber, M.G. (2003) Fire regimes and climatic change in Canadian forests. En: *Fire and Climatic Change in Temperate Ecosystems of the Western Americas*. Veblen, T.; Baker, W.L.; Montenegro, G.; Swetnam, T. (editores). *Ecological Studies*. No. 160, pp. 97-119.
- Gayoso, J.; Guerra, J. (2005) Contenido de carbono en la biomasa aérea de bosques nativos en Chile. *Bosque*. Vol. 2, No. 26, pp. 33-38.
- Gayoso, J. (2002) Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques nativos y plantaciones de Chile. *Revista Forestal Iberoamericana*. Vol. 1, No. 1, pp. 1-13.
- González-Cabán, A. (2008) *Memorias del Segundo Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección contra Incendios Forestales: una visión global*. Gen Tech. Rep. PSW-GTR-208. Córdoba, España.
- González-Pérez, J.A.; González-Vila, F.J.; Almendros, G.; Knicker, H. (2004) The effect of fire on soil organic matter: review. *Environmental International*. No. 30, pp. 855-870.
- González-Vila, F.J.; Almendros, G.; González-Pérez, J.A.; Knicker, H.; González-Vázquez, R.; Hernández, Z.; Piedra Buena, A. (2009)

- Transformación de la materia orgánica del suelo por incendios naturales y calentamientos controlados en condiciones de laboratorio. En: *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España. El estado de la cuestión visto por los científicos españoles*. Cerdà, A. & Mataix-Solera, J. (editores). Universitat de Valencia. Pp. 219-268. Valencia, España.
- Gray, J.R.; Edington, J.M. (1969). Effect of woodland clearance on stream temperature. *J. Fish. Res. Board Can.* No. 26, pp. 399-403.
- Guariguata, M.R. (2009) El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de Estudios Sociales*. No. 32, pp. 98-113.
- Hobbs, R.J.; Harris, J.A. (2001) Restoration Ecology: Repairing the Earth's Ecosystems in the New Millennium. *Restor. Ecol.* No. 9, pp. 239-246.
- Holopainen, A.L.; Huttunen, P. (1992) Effects of forest clear-cutting and soil disturbance on the biology of small forest brooks. *Hydrobiologica*. No. 243, pp. 457-464.
- Huber, A.; Iroumé, A.; Bathurst, J. (2008) Effect of *Pinus radiata* plantations on water balance in Chile. *Hydrol. Process.* No. 22, pp. 142-148.
- Hurteau, M.; Bradford, J.; Fulé, P.; Taylor, A.; Martín, K. (2013) Climate change, fire management, and ecological services in the southwestern US. *Forest Ecol. Manage.* No. 327, pp. 280-289.
- INFOR, Instituto Forestal (2016) *Anuario Forestal*. Boletín estadístico 154. 184 pp. Santiago, Chile.
- Johnston, F.H.; Henderson, S.B.; Chen, Y.; Randerson, J.T.; Marlier, M.; DeFries R.S.; Kinney, P.; Bowman, D.M.; Brauer, M. (2012) Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environ. Health Persp.* No. 120, pp. 695-701.
- Julio, G. (2014) Tendencias del problema de los incendios forestales en Chile. *Revista Mundo Forestal*. No. 26, pp. 11-17.
- Kutiel, P.; Naveh, Z. (1987) The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. *Plant Soil*. No. 104, pp. 269-274.
- La Point, T.W.; Parker, M.; Brewer, C.A.; Crossey, M. (1983) *Impact of fire on recreation stream water quality and spawning habitat*. Reporte Final (Cooperative Agreement 28-C2-222) University of Wyoming, Department of Zoology and Physiology to us Forest Service, Laramie, Wyoming, Estados Unidos.
- Lara, A.; Little, C.; Urrutia, R.; McPhee, J.; Álvarez-Garretón, C.; Oyarzún, C.; Soto, D.; Donoso, P.; Nahuelhual, L.; Pino, M.; Arismendi, I. (2009) Assessment of Ecosystem Services as an Opportunity for the Conservation and Management of Native Forest in Chile. *Forest Ecol. Manage.* No. 258, pp. 415-424.
- Lara, A.; Reyes, R.; Urrutia, R. (2010a) Bosques nativos. En: *Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 2008*. Instituto de Asuntos

- Públicos. Centro de Análisis de Políticas Públicas. Universidad de Chile. Pp. 126-171. Santiago, Chile.
- Lara, A.; Urrutia, R.; Little, C.; Martínez, A. (2010b) Servicios ecosistémicos y Ley del Bosque Nativo: no basta con definirlos. *Revista Bosque Nativo*. No. 47, pp. 3-9.
- Little, C.; Lara, A.; McPhee, J.; Urrutia, R. (2009) Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *J. Hydrol.* No. 30, pp. 162-170.
- Locatelli, B.; Leonard, S. (2001) Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). *Boix et Forêts des Tropiques*. No. 267, pp. 69-81.
- Mackey, B.; Keith, H.; Berry, S.; Lindenmayer, D. (2008) *Green carbon: the role of natural forests in carbon storage*. Parte 1: A green carbon account of Australia's South-Eastern Eucalypt Forest and Policy Implications. ANU E. Press. The Australian National University. 43 pp.
- Mataix-Solera, J.; Guerrero, C.; Úbeda, X.; Outeiro, L.; Torres, P.; Cerdà, A.; Bodí, M.B.; Arcenegui, V.; Zornoza, R.; Gómez, I.; Mataix-Beneyto, J. (2007) *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*. Caja Mediterráneo CEMACAM. 196 pp.
- Matthews, E.; Payne, R.; Rohweder, M.; Murray, S. (2000). *Forest ecosystems. Pilot analysis of global ecosystems*. World Resources Institute. 74 pp. Washington, Estados Unidos.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005) *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. 24 pp. Washington, Estados Unidos.
- Mihuc, T.B.; Minshall, G.W. (1995) Trophic generalists vs. trophic specialists: implications for food web dynamics in post-fire streams. *Ecology*. No. 76, pp. 2361-2372.
- Myers, M. (1997) Interpretive research in information systems. En: *Information Systems: An Emerging Discipline?* Mingers, J. & Stowell, F. (editores). McGraw-Hill. Pp. 239-266. Londres, Inglaterra.
- Myers, N.; Mittermeier, R.; Mittermeier, C.; Fonseca, G.; Kent, J. (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. No. 403, pp. 853-858.
- Nahuelhual, L.; Donoso, P.; Lara, A.; Núñez, D.; Oyarzún, C.; Neira, E. (2007) Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforests. *Environment, Development and Sustainability*. No. 9, pp. 481-499.
- Neary, D.G.; Klopatek, C.C.; DeBano, L.F.; Folliott, P.F. (1999) Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecol. Manag.* No. 122, pp. 51-71.
- Núñez, L.; Proupín, J.; Rodríguez, A. (2004) Energy valuation of forest residues originated from shrub species in Galicia. *Bioresource Technol.* No. 91, pp. 215-221.

- ODEPA, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2010) Estudio: Estimación del carbono capturado en las plantaciones de Pino radiata y Eucaliptos relacionadas con el DL-701 de 1974. Disponible en: www.odepa.gob.cl/odepaweb/serviciosinformacion/publica/Estudio_estimacion_del_carbono_capturado_en_plantaciones.pdf
- Oliver, A.; Bogan, M.; Herbst, D.; Dahlgren, R. (2012) Short-term changes in-stream macroinvertebrate communities following a severe fire in the Lake Tahoe basin, California. *Hydrobiologia*. No. 694, pp. 117-130.
- Parker, J.L.; Fernandez, I.J.; Rustad, L.E.; Norton, S.A. (2001) Effects of nitrogen enrichment, wildfire, and harvesting on forest-soil carbon and nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* No. 65, pp. 1248-1255.
- Peña-Fernández, E.; Valenzuela-Palma, L. (2004) Incremento de los incendios forestales en bosques naturales y plantaciones forestales en Chile. En: *Memorias del Segundo Simposio Internacional sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: una visión global*. General Technical Report PSW-GTR-2008. Pp. 595- 612.
- Reeves, G.H.; Everest, F.H.; Sedell, J.R. (1993) Diversity of juvenile anadromous salmonid assemblages in coastal Oregon basins with different levels of timber harvest. *T. Am. Fish. Soc.* No. 122, pp. 309-317.
- Richards, C.; Minshall, G.W. (1992) Spatial and temporal trends in stream macroinvertebrate communities: the influence of catchment disturbance. *Hydrobiologia*. No. 241, pp. 173-184.
- Rieman, B.E.; Lee, D.; Chandler, G.; Myers, D. (1997) Does wildfire threaten extinction for salmonids: responses of redband trout and bull trout following recent large fires on the Boise National Forest. En: *Proceedings of the symposium on fire effects on threatened and endangered species and habitats*. Greenlee, J. (editor). International Association of Wildland Fire. Pp. 47-57. Washington, Estados Unidos.
- Romero, F.I.; Cozano, M.A.; Gangas, R.A.; Naulin, P.I. (2014) Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque*. Vol. 1, No. 35, pp. 3-12.
- Sedell, J.R.; Reeves, G.H.; Hauer, F.R.; Stanford, J.A.; Hawkins, C.P. (1990) Role of refugia in recovery from disturbances: modern fragmented and disconnected river systems. *Environ. Manage.* No. 14, pp. 711-724.
- Spencer, C.N.; Hauer, F.R. (1991) Phosphorus and nitrogen dynamics in streams during a wildfire. *J.N. Am. Benthol. Soc.* No. 10, pp. 24-30.
- Thonicke, K.; Venesky, S.; Sitech, S.; Cramer, W. (2001) The role of fire disturbance for global vegetation dynamics: coupling fire in to a dynamic global vegetation modal. *Global Ecol. Biogeogr.* No. 10, pp. 661-677.

- Tiedemann, A.R.; Conrad, C.; Dieterich, J.H.; Hornbeck, J.W.; Meghan, W.F.; Viereck, L.A.; Wade, D.D. (1979) *Effects of fire on water, A state-of-knowledge review*. USDA Forest Service General Technical Report wo-10. National Fire Effects Workshop. US Forest Service. Denver, Estados Unidos.
- Torrejón, F.; Bizama, G.; Araneda, A.; Aguayo, M.; Bertrand, S.; Urrutia, R. (2013) Descifrando la historia ambiental de los archipiélagos de Aysén, Chile: el influjo colonial y la explotación económica-mercantil republicana (siglos XVI-XIX). *Magallania* (Chile). Vol. 1, No. 41, pp. 29-52.
- Urzúa, N.; Cáceres, F. (2011) Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*. Vol. 1, No. 7, pp. 18-24.
- Valero, E.; Picos, J.; Herrera, M. (2007) Cálculo de las emisiones de CO₂ por los incendios de 2006 en la provincia de Pontevedra (Galicia). *4th International Wildland Fire Conference*. 6 pp. Sevilla, España.
- Vallejo, R.; Valdecantos, A. (2008) *Fire. In Land care in desertification affected area: From science toward application (LUCINDA project)*. Booklet Series B2. Disponible en: [geografia.fcsh.unl.pt /lucinda/desertification_processes.html](http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/desertification_processes.html)
- Van Meter, W.P.; Hardy, C.E. (1975) *Predicting effects on fish of fire retardants in streams*. US Forest Service Research Paper INT-166.
- Verkaik, I.; Rieradevall, M.; Cooper, S.D.; Melack, J.M.; Dudley, T.L.; Prat, N. (2013) Fire as a disturbance in mediterranean climate streams. *Hydrobiologia*. No. 719, pp. 353-382.
- Vidal, F.; Useche, L.; Hernández, S. (2013) Biodiversidad y el cambio antrópico del clima: ejes temáticos que orientan la generación de conocimiento para la gestión frente al fenómeno. *Ambiente y Desarrollo*. Vol. 32, No. 17, pp. 79-96.
- Wallis, M.G.; Horne, D.J. (1992) Soil water repellency. *Adv. Soil Sci.* No. 20, pp. 91-146.
- Warren, C.E.; Liss, W.J. (1980) Adaptation to aquatic environments. En: *Fisheries management*. Lackey, R.T. & Nielsen, L. (editores). Blackwell Scientific Publications. Pp. 15-40. Oxford, Reino Unido.