



Estimación de riesgo de desastres y análisis de impactos económicos en el sector forestal

Índice de Contenidos

1. Resumen Ejecutivo	3
2. Riesgo de Desastres en el Sector Forestal: Fundamentos y Estrategia	4
2.1. Relevancia y urgencia sectorial	4
2.2. Origen y objetivos del estudio	5
2.3. Colaboración público-privada	5
3. Metodología: Un Enfoque Integrado de Riesgo y Economía	6
3.1. Riesgo Probabilístico	6
3.1.1. Amenaza: Probabilidad e Intensidad	7
3.1.2. Exposición y Cadena de Valor	10
3.1.3. Tasa de Pérdida Histórica	13
3.2. Efectos e Impactos Económicos	14
3.2.1. Pérdida directa y <i>shock</i> de oferta	14
3.2.2. Propagación intersectorial	14
3.2.3. Pérdida en producción bruta y en PIB	15
4. Resultados	16
4.1. Pérdida Anual Esperada	16
4.2. Impacto Económico Sistémico	17
4.3. Efecto del cambio climático	18
4.4. Análisis de escenarios	19
5. Diseño e Implementación de una Plataforma Digital Habilitante	20
6. Recomendaciones para Políticas Públicas	21
6.1. Problemas identificados	21
6.2. Propuestas y recomendaciones	22
6.2.1. Medidas de protección financiera	22
6.2.2. Medidas de gestión	22
6.2.3. Medidas estructurales	23
7. Conclusiones y desafíos	24
Referencias	25

Resumen Ejecutivo

El sector forestal chileno constituye un pilar estratégico de la economía nacional, aportando entre el 1,3 % y el 1,6 % del PIB y generando más de 100.000 empleos directos vinculados principalmente a la exportación de celulosa y papel. No obstante, la alta concentración geográfica del patrimonio forestal en las regiones del Maule y del Biobío genera una exposición crítica ante amenazas naturales como incendios, sismos e inundaciones. El presente estudio, desarrollado por el Instituto para la Resiliencia ante Desastres en convenio con la Subsecretaría de Economía y enmarcado en el Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, sistematiza una evaluación integral del riesgo sectorial bajo los mandatos de la Ley de Gestión de Riesgos de Desastres y la Ley Marco de Cambio Climático. A través de una metodología que integra modelos de riesgo probabilístico de estándares internacionales y un análisis económico de insumo-producto, se cuantificaron tanto los daños físicos directos sobre los activos como la propagación de estos impactos hacia el resto del sistema productivo nacional.

Los hallazgos principales identifican a los incendios forestales como la amenaza dominante para el sector, concentrando la mayor parte de las pérdidas nacionales esperadas y afectando de manera desproporcionada a los pequeños y medianos propietarios de la región del Maule. Por otro lado, el riesgo de inundaciones presenta una alta concentración en la región del Biobío, donde la ubicación de grandes plantas industriales en zonas vulnerables genera puntos de falla sistémicos que comprometen la continuidad de la cadena de valor. El modelo económico revela que el sector posee un multiplicador de oferta de 1,51, lo que implica que cualquier interrupción en la producción forestal detona pérdidas adicionales significativas en rubros estratégicos como la construcción y el comercio debido a su estrecho encadenamiento productivo. Por otro lado, las proyecciones hacia el año 2050 bajo escenarios de cambio climático advierten un incremento del 25 % en las pérdidas por incendios forestales, subrayando la urgencia de transitar hacia un modelo de gestión prospectivo.

Para abordar estas vulnerabilidades, el proyecto implementó el Visualizador de Datos de Impacto Productivo, una plataforma digital diseñada para que el Estado cuente con información técnica certera al momento de justificar decisiones de inversión y focalizar programas preventivos. Junto a esta herramienta, se proponen recomendaciones de política pública estructuradas en medidas de protección financiera como seguros con subsidio estatal, instrumentos de gestión para el manejo activo del combustible y medidas estructurales orientadas a la creación de paisajes inteligentes contra el fuego. Estas acciones buscan reducir la fragilidad económica de los productores y asegurar la continuidad operativa de toda la cadena forestal frente a eventos climáticos extremos.

Finalmente, a partir del estudio es posible destacar que la gestión del riesgo de desastres es indispensable para proteger la base productiva del país, especialmente ante el aumento de la severidad de las amenazas por el cambio climático. La plataforma digital es un aporte concreto para optimizar el uso de los recursos públicos, permitiendo transitar desde la respuesta ante emergencias hacia una mitigación técnica y efectiva. Es fundamental impulsar una colaboración activa entre el sector público y privado que permita implementar estas mejoras y fortalecer la resiliencia del sector a largo plazo. Invertir hoy en la protección de los recursos forestales e industriales no es solo un costo, sino la mejor forma de asegurar que el sector siga siendo un motor de desarrollo territorial y empleo en las próximas décadas.

Riesgo de Desastres en el Sector Forestal: Fundamentos y Estrategia

2.1 Relevancia y urgencia sectorial

El sector forestal chileno es un pilar fundamental de la economía nacional y un motor de desarrollo territorial en la zona centro-sur del país. Según datos del Banco Central y el Instituto Forestal (INFOR), este sector aporta aproximadamente entre el 1,3 % y el 1,6 % del PIB nacional. Sin embargo, su relevancia trasciende el valor agregado directo: genera más de 100.000 empleos y sus exportaciones alcanzaron los US\$ 6.500 millones en 2023, siendo la celulosa y el papel los componentes mayoritarios de esta canasta exportadora.

Territorialmente, las regiones del Maule y Biobío concentran una parte significativa del patrimonio forestal. La región del Biobío alberga el 27,7 % de la superficie nacional de plantaciones, mientras que el Maule concentra el 18 %. Aunque esta aglomeración geográfica genera eficiencias logísticas y productivas, genera una exposición concentrada ante amenazas naturales y antrópicas.

Durante las últimas décadas, tanto grandes empresas como pequeños y medianos propietarios se han visto afectados de una u otra manera por el efecto de distintas amenazas. El terremoto del Maule de 2010, aunque no haya afectado directamente a las plantaciones forestales, sí generó retrasos en la distribución de trozas de madera debido al daño en caminos o puentes, dificultando o incluso bloqueando el traslado de los camiones. Las inundaciones producidas por fuertes lluvias o desbordamientos de ríos han generado no solo pérdidas en plantaciones jóvenes debido a un ahogamiento de las raíces, impactando en la planificación de oferta de años futuros, sino que también han generado impactos inmediatos como fue el caso del cierre de la planta de celulosa Licancel de Forestal Arauco S.A. en 2023. Y sin duda, la afectación más directa sobre las plantaciones son los incendios forestales, que todos los años generan pérdidas millonarias debido a la destrucción de grandes superficies forestales.

Si bien estos antecedentes son conocidos y se integran, en cierta medida, en la planificación anual del sector, la capacidad de preparación y mitigación no es homogénea entre los distintos propietarios. El modelo forestal se basa en ciclos productivos de largo plazo —con un rango de 18 a 22 años para plantaciones de pino y de 11 a 14 años para eucalipto— lo que implica que, ante eventos catastróficos, los pequeños propietarios carezcan a menudo de la solvencia financiera necesaria para recuperarse, debilitando el sector. Esto se evidencia en que el aporte del sector forestal al PIB nacional pasó del 2,4 % en 2015 al 1,6 % mencionado anteriormente. Un ejemplo de medidas de mitigación desiguales es el manejo forestal, específicamente, la inexistencia de cortafuegos en ciertos terrenos, con lo cual aquellos incendios que no son controlados a tiempo pueden pasar por plantaciones de otros propietarios.

Por otro lado, la afectación del sector forestal no es exclusiva de las empresas u organizaciones del rubro. La actividad forestal no opera de manera aislada, sino que sostiene una red compleja de encadenamientos tanto aguas arriba (demandando insumos y servicios) como aguas abajo (proveyendo materiales críticos para otras industrias). Más aún, es un sector con alto encadenamiento productivo dentro de la economía chilena de acuerdo a datos del Banco Central. En particular, sectores como construcción o comercio pueden ver su operación fuertemente afectada debido a *shocks* de oferta que presente el sector forestal.

Junto a lo anterior, surge la preocupación de la crisis climática, cuyas proyecciones indican un aumento en la frecuencia y severidad de condiciones propicias para incendios, y en particular, “megaincendios”. Sin medidas de adaptación, se compromete la competitividad global del sector. Además, la estructura de propiedad revela una

brecha social crítica: existen más de 25.000 pequeños propietarios forestales que no cuentan con una robustez financiera para resistir estos eventos, comprometiendo así la sostenibilidad de las comunidades locales.

2.2 Origen y objetivos del estudio

Bajo este contexto, surge el proyecto **“Evaluación de riesgo de desastres para sectores productivos y desarrollo de plataforma digital”**. Esta iniciativa se desarrolla en el marco del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible (DPS), a través de un convenio de desempeño entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Instituto para la Resiliencia ante Desastres (Itrend). El proyecto busca responder el mandato de la Ley N° 21.364, la cual exige incorporar el análisis de riesgo en la planificación sectorial, y a la Ley Marco de Cambio Climático que obliga a los sectores a elaborar planes de adaptación.

El objetivo general del proyecto es evaluar cualitativa y cuantitativamente el impacto que producen los incendios forestales, sismos e inundaciones sobre el sector forestal en las regiones Maule y Biobío, el proyecto contempla distintas líneas de trabajo con objetivos específicos. En concreto, se consideran dos líneas de evaluación de impacto junto a otras dos líneas de análisis y divulgación de los resultados. Los objetivos específicos de estas líneas son los siguientes:

1. **Caracterización del Riesgo:** Generar mapas de indicadores de riesgo productivo para las tres amenazas seleccionadas para escenarios actuales y evaluar el impacto de escenarios de cambio climático al año 2050 (SSP5-8.5).
2. **Modelación Económica:** Estimar la propagación sistémica de las pérdidas de riesgo hacia otros sectores mediante modelos de insumo-producto, cuantificando el efecto multiplicador.
3. **Plataforma Digital:** Diseñar e implementar una plataforma digital con los resultados del proyecto que permita apoyar la toma de decisiones y la focalización de programas preventivos frente al riesgo de desastres.
4. **Recomendaciones para Políticas Públicas:** Diseñar recomendaciones de política pública basadas en evidencia para fortalecer la resiliencia del sector y mitigar los impactos fiscales y sociales.

2.3 Colaboración público-privada

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, resultó fundamental el trabajo conjunto entre los organismos públicos, organizaciones privadas y actores claves del sector. En este marco, el proyecto integró la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño, DPS, Forestal Arauco S.A., Empresas CMPC S.A. y la Corporación Chilena de la Madera A.G. (CORMA).

Esta colaboración con Arauco, CMPC y CORMA no solo permitió obtener datos cruciales para los fines del estudio, sino que también facilitó la validación técnica de los modelos y supuestos empleados. La profundidad de la información proporcionada habilitó un análisis innovador en la planificación de medidas de mitigación ante el riesgo de desastres. Complementariamente, se incorporó la experticia de INFOR para la revisión de los modelos de rendimiento de cosecha y economía forestal.

Más allá del soporte técnico, se consolidó un espacio de diálogo con todos los actores involucrados a través de mesas de trabajo público-privadas. En estas instancias se identificaron las brechas críticas del sector y se alinearon las expectativas respecto a los alcances del proyecto. El intercambio generado en dichas reuniones fue un insumo determinante para el diseño de las recomendaciones de política pública derivadas de este estudio.

Metodología: Un Enfoque Integrado de Riesgo y Economía

Para estimar el impacto de las amenazas en el sector forestal se consideran dos etapas de análisis. Primero, el impacto directo sobre los activos del sector con un enfoque de riesgo probabilístico; y segundo, la propagación de dicho impacto a los distintos sectores de la economía modelada como un *shock* de oferta.

3.1 Riesgo Probabilístico

La metodología de riesgo escogida corresponde a la propuesta realizada por la Agencia Federal de Gestión de Emergencia de EE. UU. (FEMA por sus siglas en inglés) en su documento del Índice Nacional de Riesgo [1]. La metodología FEMA permite calcular la pérdida anual esperada (*PAE*) de algún activo considerando las tres componentes del riesgo: exposición, vulnerabilidad y amenaza. Específicamente, utiliza la [Ecuación 1](#),

$$PAE_{FEMA} = V_{exp} \times TPH \times \lambda, \quad (1)$$

donde V_{exp} es el valor expuesto de los activos y personas (exposición) en términos económicos frente a una amenaza, TPH corresponde a la tasa de pérdidas históricas frente a dicha amenaza (vulnerabilidad), y λ es la frecuencia de ocurrencia anualizada de la amenaza (amenaza). La formulación general de esta metodología, en tanto, considera la evaluación de diversas medidas de intensidad (mi) para una amenaza, obteniendo un valor más preciso aunque con la dificultad de obtener más datos. Esta formulación, indicada en la [Ecuación 2](#), se utilizará en la medida que se cuenten con los datos suficientes para su estimación.

$$PAE = V_{exp} \times \sum_{mi} TPH_{mi} \times (\lambda_{mi} - \lambda_{mi+1}) \quad (2)$$

En términos prácticos, el cálculo de riesgo, ya sea a través de la formulación tradicional o generalizada de FEMA, se realiza sobre un grilla georreferenciada. La pérdida es evaluada en cada una de las celdas de la misma, lo cual permite que esta pueda ser visualizada tanto espacialmente, como también agrupándola a través de divisiones administrativas (comunas, provincias o regiones) o de características de los activos considerados. La [Figura 1](#) representa gráficamente este cálculo.

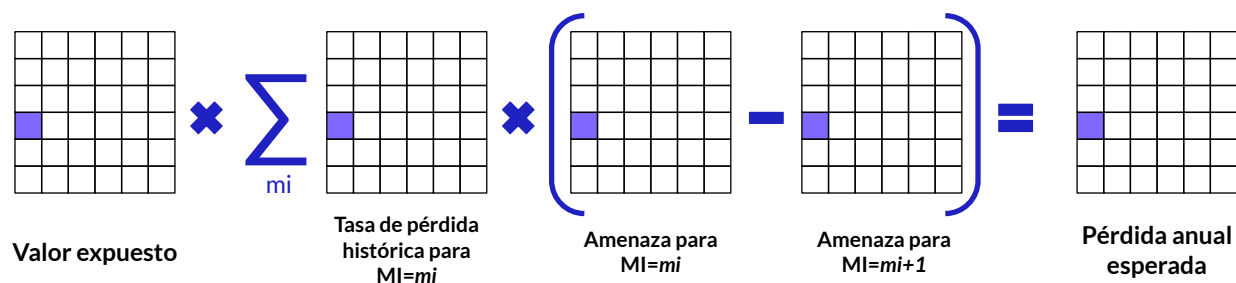


Figura 1. Representación gráfica del cálculo de pérdida anual esperada utilizando la metodología generalizada de FEMA. Cuando se considera solo una medida de intensidad se tiene que $mi + 1 \rightarrow \infty \Rightarrow \lambda = 0$, obteniendo la formulación tradicional de FEMA.

3.1.1 Amenaza: Probabilidad e Intensidad

Incendios Forestales

Los mapas de amenaza de incendios forestales fueron desarrollados en conjunto con el Instituto de Sistemas Complejos de Ingeniería (ISCI). En el caso de incendios forestales, la medida de intensidad utilizada es la altura de llama (H_{llama}) en unidades de metros. Para construir los mapas, se simularon miles de temporadas de incendios forestales en las regiones que abarcan el estudio en grillas de 30×30 metros. Para cada temporada se consideró un mapa de probabilidades de igniciones elaborado a partir de características del paisaje, demográficas, climáticas y actividad antrópica, donde se define el inicio de cada incendio. Aunque en las simulaciones no se considera directamente el combate de los incendios, la duración de cada uno de ellos procede de una distribución probabilística a partir de los registros de CONAF, por lo que implícitamente sí están considerados. Adicionalmente, se ha incluido un efecto de incendios extremos que pueden amplificar su duración.

La simulación del incendio forestal se realiza a través del programa C2F+W [2]. Una vez finalizado el incendio, el terreno que fue afectado no puede ser alcanzado por otro incendio dentro de la misma temporada. Los resultados de todas las temporadas son almacenados, permitiendo contabilizar así en cada celda la altura máxima alcanzada en cada temporada. La Figura 2 presenta los mapas de excedencia para tres umbrales de altura de llama h_{llama} de 4, 5 y 6 metros. Claramente, los colores se vuelven más oscuros mientras menor es la altura de llama, lo que es esperable, ya que mientras más oscuro mayor es la tasa de excedencia. En otras palabras, una altura de llama de 4 metros ocurre con mayor frecuencia que una de 6 metros.

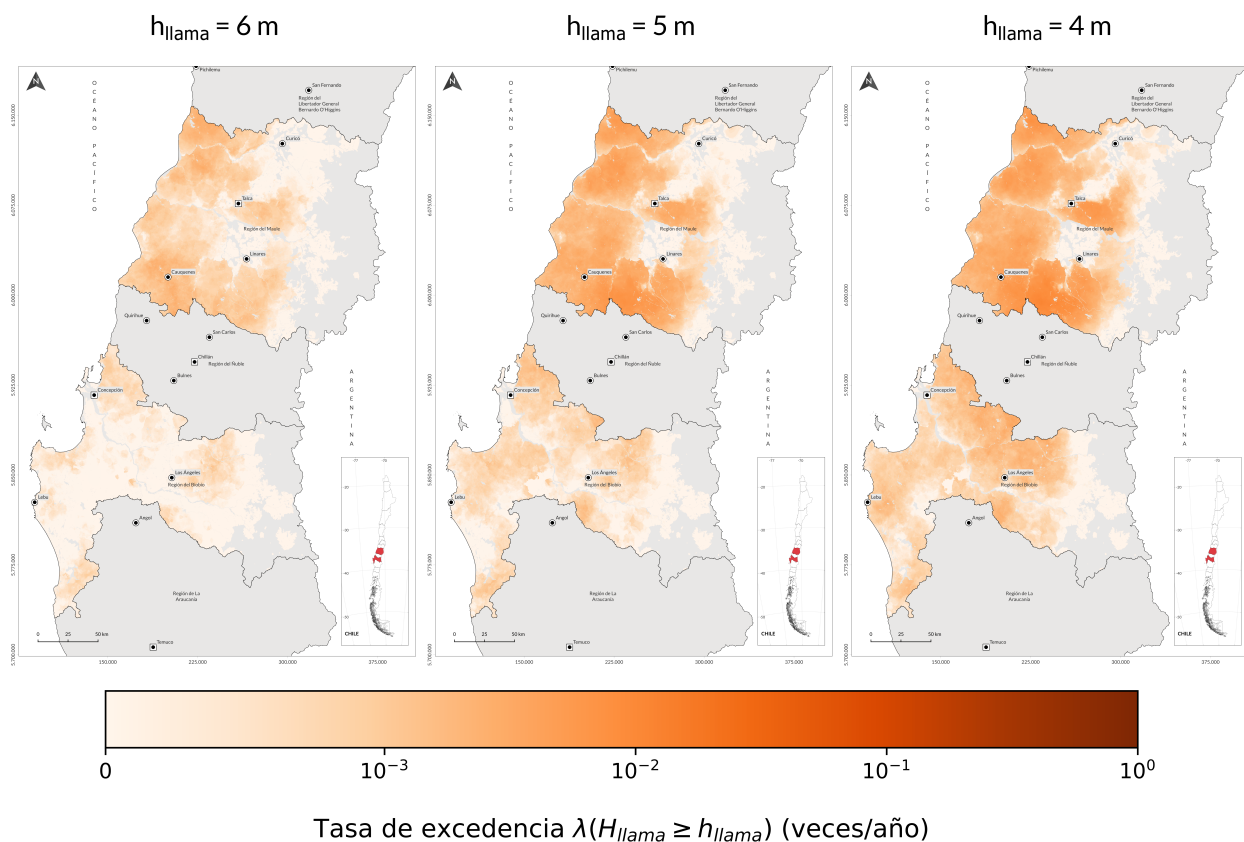


Figura 2. Mapas de amenaza de incendios forestales (λ) para $H_{\text{llama}} \geq h_{\text{llama}}$, con valores de $h_{\text{llama}} = 6 \text{ m}$ (izquierda), $h_{\text{llama}} = 5 \text{ m}$ (centro) y $h_{\text{llama}} = 4 \text{ m}$ (derecha) para las regiones Maule y Biobío.

Sismos

Para la estimación de la amenaza sísmica se ha utilizado el modelo desarrollado por Candia et al. [3], el cual a su vez está disponible en la Herramienta de visualización para mapas de amenaza desarrollado por Itrend [4]. El modelo de amenaza considera la sismicidad de eventos interplaca e intraplaca de profundidad intermedia. La medida de intensidad utilizada para los mapas de amenaza corresponde a la aceleración máxima del suelo (*PGA*, por sus siglas en inglés), la cual generalmente se mide en unidades de g (aceleración de gravedad, $9,81 \text{ m/s}^2$). Por otro lado, se ha utilizado como propiedad del suelo los valores provistos por el “Mapa de suelo” señalado en el modelo original.

Los mapas originales utilizaban grillas de puntos espaciados cada 1 kilómetro, los cuales fueron procesados y ajustados a una grilla de 100×100 metros. La Figura 3 presenta los mapas obtenidos para umbrales de *pga* de 0,016 g, 0,1 g y 0,63 g (valores escogidos arbitrariamente con el fin de ejemplificar). El rango completo del estudio de amenaza realizado entrega mapas desde 0,001 g a 4 g. Como referencia, para el terremoto del Maule de 2010 se registró un *PGA* de 0,65 g [5].

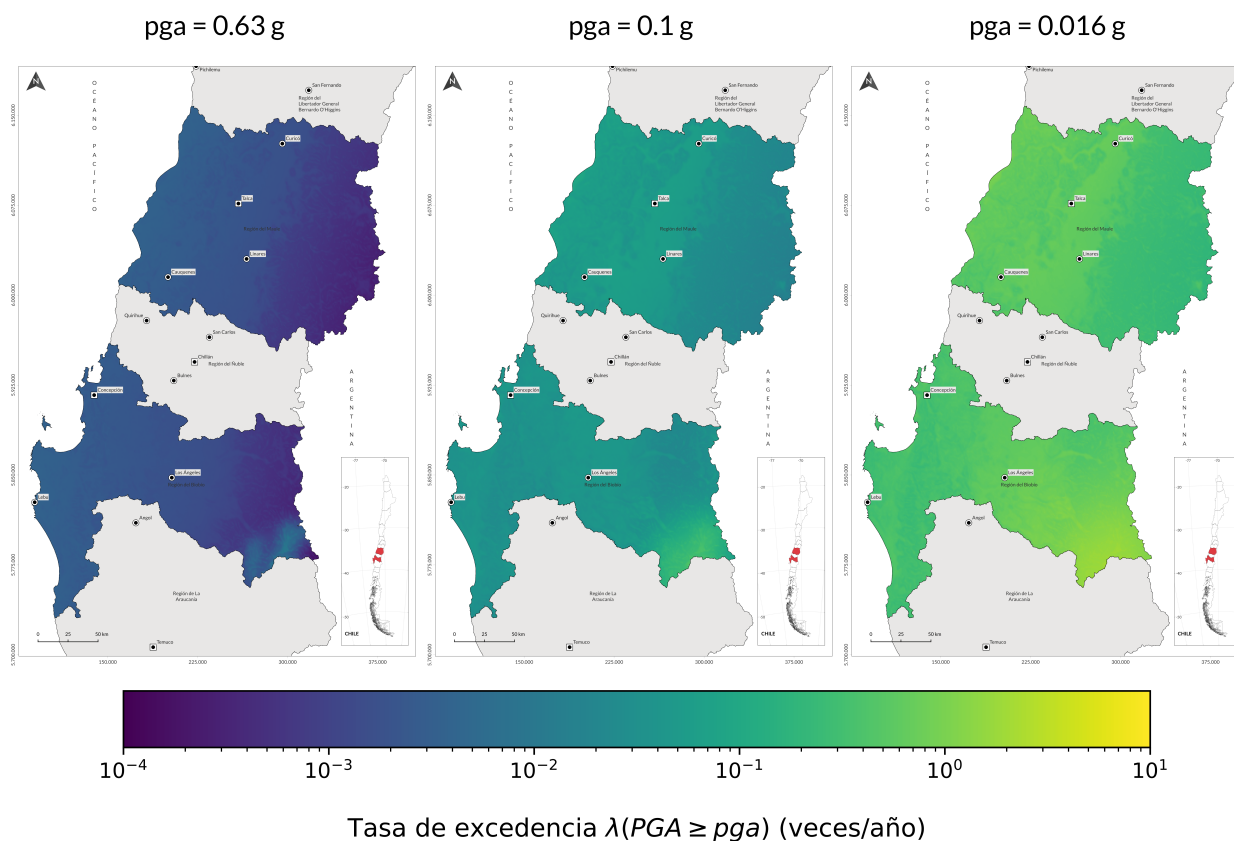


Figura 3. Mapas de amenaza sísmica (λ) para $PGA \geq pga$, con valores de *pga* = 0,63 g (izquierda), *pga* = 0,1 g (centro) y *pga* = 0,016 g (derecha) para las regiones Maule y Biobío.

Inundaciones

Los mapas de amenaza de inundaciones se han desarrollado a partir de modelos hidrológicos e hidráulicos que simulan precipitaciones y eventos de crecidas para el territorio para distintos períodos de retorno. Estos mapas fueron adquiridos a través de la empresa de investigación aplicada Fathom [6]. El modelo de amenaza considera dos tipos de inundaciones: fluviales y pluviales. Las inundaciones fluviales son aquellas donde las precipitaciones

causan el aumento de caudal en cauces naturales (ríos, esteros, quebradas, entre otros) y su eventual desborde (salida de agua de los confines del cauce) afecta los terrenos aledaños; por su parte las inundaciones pluviales ocurren cuando terrenos no clasificados como cauces (zonas pobladas, ciudades, infraestructura) acumulan agua caída de forma tal que el nivel de agua crece y genera impactos. Para ambos casos, la medida de intensidad corresponde a la altura de agua (H_{agua}) medida en metros.

Los mapas originales utilizan grillas de 30 x 30 metros, tamaño que se mantuvo pero fue resampleado a la grilla utilizada en el proyecto para tener consistencia con el resto de las capas. Por otro lado, a diferencia de las pérdidas anuales esperadas, las tasas de excedencia de los mapas fluviales y pluviales no pueden ser sumadas directamente. La [Figura 4](#) presenta los mapas de amenaza para las inundaciones fluviales, mientras que la [Figura 5](#) presenta los mapas de amenaza para las inundaciones pluviales, en ambos casos para alturas de agua h_{agua} de 0,5, 1 y 2 metros, aunque el modelo contiene datos hasta 6 metros de altura. Una vez determinadas las pérdidas por inundaciones fluviales e inundaciones pluviales, estas pueden ser sumadas e interpretadas como pérdidas debido a inundaciones de manera general.

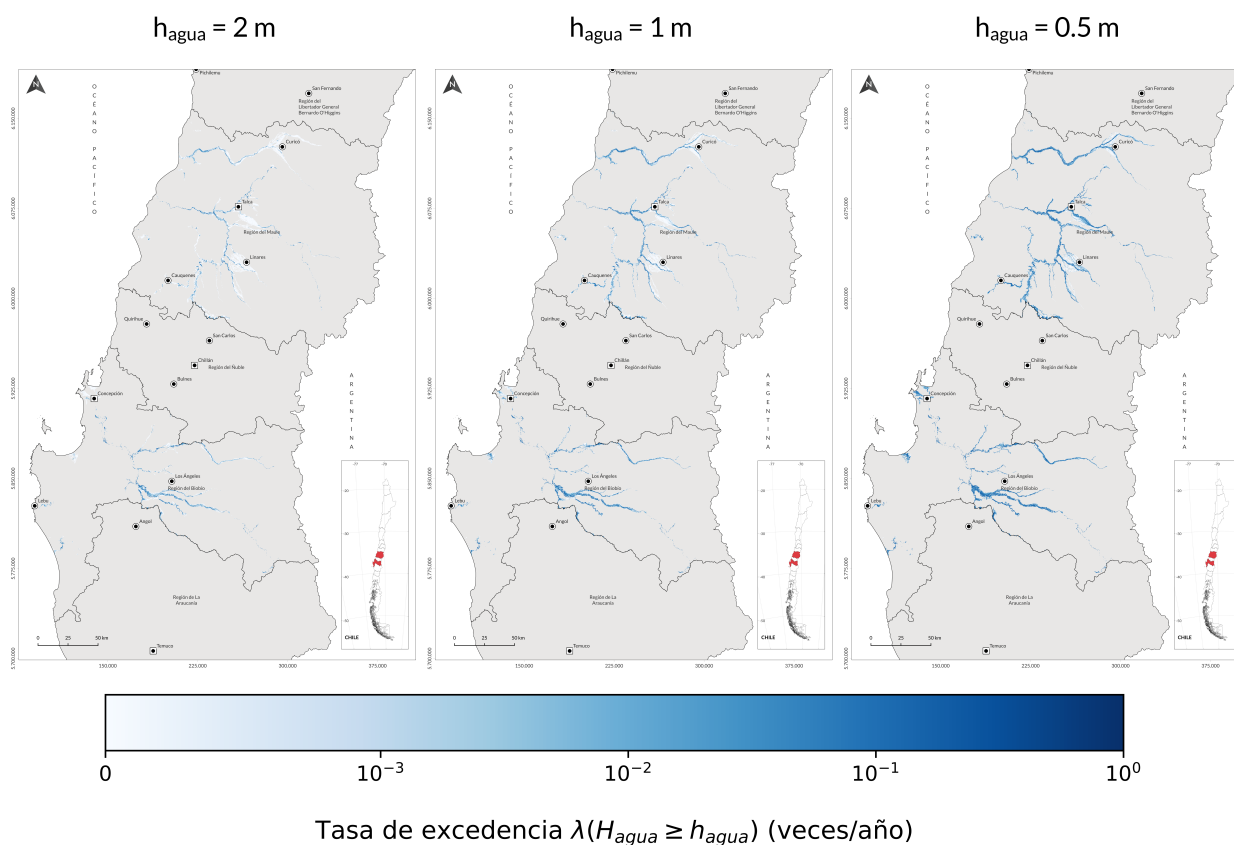


Figura 4. Mapas de amenaza de inundaciones fluviales (λ) para $H_{\text{agua}} \geq h_{\text{agua}}$, con valores de $h_{\text{agua}} = 2$ m (izquierda), $h_{\text{agua}} = 1$ m (centro) y $h_{\text{agua}} = 0.5$ m (derecha) para las regiones Maule y Biobío.

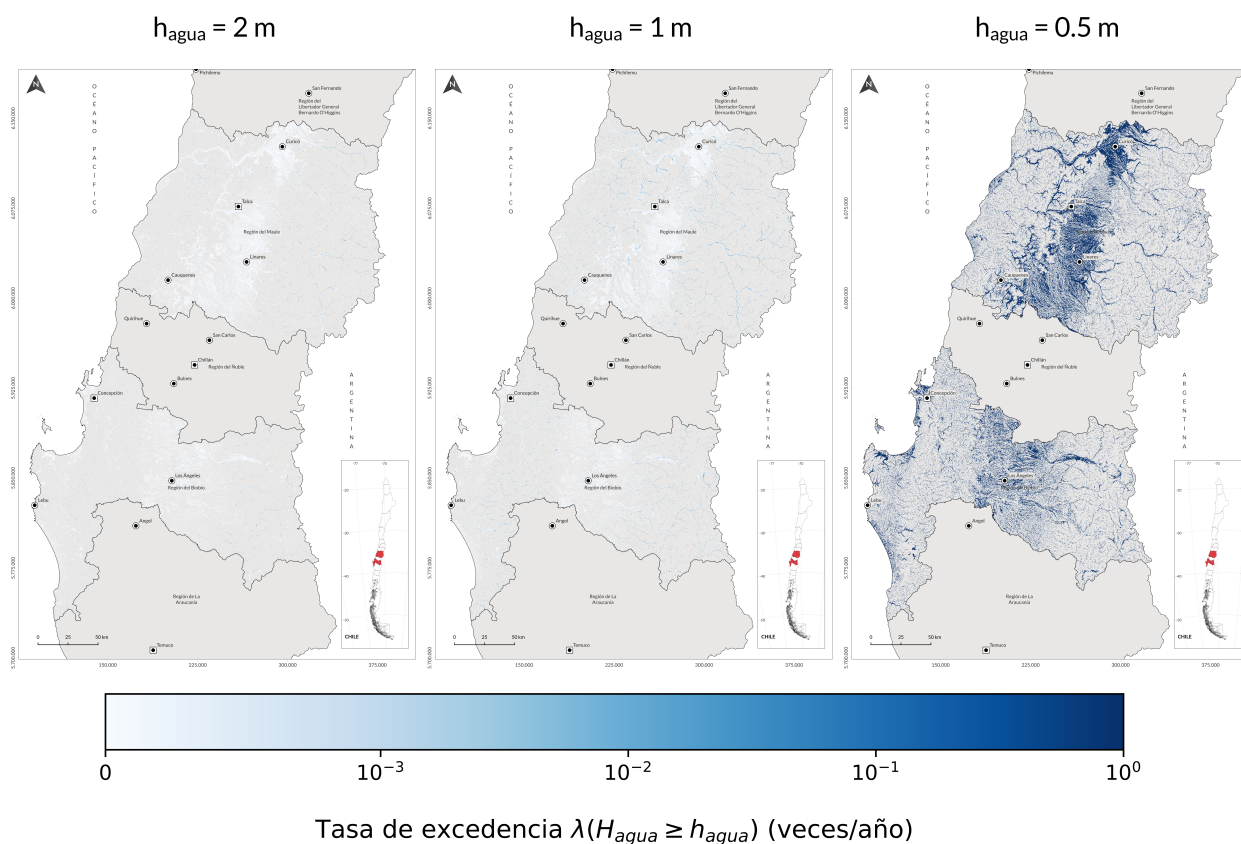


Figura 5. Mapas de amenaza de inundaciones pluviales (λ) para $H_{agua} \geq h_{agua}$, con valores de $h_{agua} = 2$ m (izquierda), $h_{agua} = 1$ m (centro) y $h_{agua} = 0.5$ m (derecha) para las regiones Maule y Biobío.

3.1.2 Exposición y Cadena de Valor

Para caracterizar el sector forestal, es necesario establecer las actividades que se consideran parte de él. En ese sentido, INFOR propone una definición operativa del PIB Forestal, entendida como la suma del valor agregado generado por los subsectores asociados a la Actividad Silvícola y los subsectores de Maderas y muebles; y de Celulosa, papel e imprentas, ambos pertenecientes al sector de Manufacturas [7]. Estos subsectores se pueden categorizar en tres niveles asociados a la cadena productiva en torno a la madera:

- 1. Nivel primario:** Cosecha de materia prima.
- 2. Nivel secundario:** Procesamiento de productos.
- 3. Nivel terciario:** Comercialización y exportación.

El modelo de riesgo desarrollado aborda los dos primeros niveles de producción para el sector forestal, mientras que el nivel terciario es abordado en el modelo económico considerando los insumos del presente modelo, además de otras características de cada uno de los subsectores pertenecientes a dicho nivel.

Nivel primario

El principal activo del nivel primario forestal, correspondiente a las actividades silvícolas y de extracción de madera, son las plantaciones forestales. En Chile se reportan 2.276.766 hectáreas de plantaciones, siendo las principales especies plantadas el pino (54,6 %) y el eucalipto (37,4 %) [7]. En la [Tabla 1](#) se presenta un resumen de la superficie destinada a plantaciones forestales por región y tamaño de propietario.

Tabla 1. Superficie plantada según tipo de propietario y especie

Región	Tamaño propietario	Superficie Pino [ha]	Superficie Eucalipto [ha]	Superficie Otro [ha]
Maule	Pequeño y mediano	166.309,65	39.314,61	2.031,93
	Grande	157.622,40	8.402,49	4.242,60
Biobío	Pequeño y mediano	47.999,97	104.015,34	494,19
	Grande	224.943,75	189.646,47	1.898,55
Total		596.875,77	341.378,91	8.667,27

Utilizando el modelo de incremento anual para pinos y eucaliptos señalado en el Estudio de disponibilidad de madera de INFOR [8] es posible estimar la cantidad de trozas de cada especie, tal como se presentan en la [Tabla 2](#). La troza estimada, sin embargo, no corresponde a la troza disponible para ser cosechada en la actualidad sino a la que se estima cosechar en los próximos años. Dado que no hay una edad exacta en que las plantaciones sean cosechadas, y teniendo en cuenta que todavía existe un inventario de plantaciones antiguas no cosechadas, se desarrolló un algoritmo de asignación del año de cosecha de una plantación en base al año de plantación y la oferta anual por especie reportada por INFOR [7].

Tabla 2. Volumen de trozas por región, tamaño de empresa y especie

Región	Tamaño propietario	Trozas pinos [m³ ssc]	Trozas eucaliptos [m³ ssc]
Maule	Pequeño y mediano	61.841.798,82	7.224.804,83
	Grande	59.876.268,42	1.757.852,65
Biobío	Pequeño y mediano	15.847.219,40	33.989.682,18
	Grande	81.695.544,83	61.896.618,69
Total		219.260.831,48	104.868.958,35

Nivel secundario

Una vez determinado el modelo de planificación de cosecha de las plantaciones, es necesario distribuir la cantidad a los centros de procesamiento. En 2023, la industria forestal consumió cerca de 40 millones de m³ ssc para producir principalmente cuatro tipos de productos: pulpa, madera aserrada, astillas y tableros y chapas.

La distribución de trozas es determinada a partir de un modelo de optimización para cada año de cosecha, en el cual se considera la oferta de cada plantación (modelo de planificación de cosecha), la capacidad de cada centro de procesamiento según el Mapa de la Industria de INFOR [9], la demanda regional de cada industria reportada en el Anuario Forestal de INFOR [7] y restricciones de compatibilidad.

Una vez determinada la troza recibida por cada centro, se debe estimar tanto la cantidad de producto como el valor de venta de los mismos. La cantidad de producto que genera cada centro está dado por las relaciones

de insumo-producto que entrega INFOR. Por otro lado, la cantidad de producto elaborada por el centro es convertida a un valor monetario a través de los precios unitarios recopilados por INFOR, tanto para el mercado local como para exportación, además de la proporción de venta para cada uno de los mercados. Tanto los factores de conversión como los precios unitarios de venta y proporciones de los mercados se presentan en la [Tabla 3](#).

Tabla 3. Conversión de troza a producto y precios de venta

Cantidad de entrada	Industria	Especie	Cantidad de salida	PU local	PU exportación	Proporción mercado local
1 m ³ ssc	Pulpa y papel	Pino	0,29 ton	500.000 \$/ton	624.692 \$/ton	17 %
		Eucalipto	0,31 ton	400.000 \$/ton	492.675 \$/ton	17 %
	Aserraderos	Pino	0,51 m ³	178.200 \$/m ³	220.986 \$/m ³	70 %
		Eucalipto	0,51 m ³	178.200 \$/m ³	172.197 \$/m ³	73 %
	Astillas	Pino	0,94 m ³	25.000 \$/m ³	129.148 \$/m ³	99 %
		Eucalipto	0,95 m ³	25.000 \$/m ³	129.148 \$/m ³	28 %
	Tableros y chapas	Pino	0,57 m ³	500.600 \$/m ³	511.808 \$/m ³	52 %
		Eucalipto	0,56 m ³	500.000 \$/m ³	511.808 \$/m ³	94 %
	Postes y polines	Pino	0,97 m ³	27.339 \$/m ³	28.700 \$/m ³	79 %
		Eucalipto	0,95 m ³	27.339 \$/m ³	28.700 \$/m ³	100 %

El valor obtenido para cada centro representa las ventas esperadas en los próximos años según el modelo de planificación de cosecha y distribución de trozas. Estos valores son evaluados como valor presente V_p a través de la expresión

$$V_p = \frac{V_f}{(1 + \delta)^{Y-2025}} \quad (3)$$

siendo V_f el valor futuro estimado, $\delta = 6,18\%$ la tasa de descuento reportada por INFOR [10], e Y el año de cosecha planificado. La [Tabla 4](#) presenta el valor expuesto estimado para cada industria del nivel secundario para las regiones del Maule y Biobío.

Tabla 4. Valor expuesto en ventas de la industria secundaria

Industria	Valor presente [mil millones \$]
Pulpa y papel	13.617,67
Aserraderos	5.062,41
Astillas	2.669,70
Tableros y chapas	4.571,21
Postes y polines	57,47
Total	25.978,45

El valor de ventas determinado para cada industria se reparte entre cada centro, pero a su vez puede ser distribuido a las plantaciones de origen. Esto permitirá cruzar el impacto no solo de las amenazas de terremotos

e inundaciones, que afectarán principalmente a los centros de procesamiento, sino también la amenaza de incendios forestales, la cual generará una pérdida indirecta al no poder proveer la materia prima requerida para la elaboración de los productos señalados.

3.1.3 Tasa de Pérdida Histórica

La capa de la tasa de pérdida histórica corresponde a la vulnerabilidad de los activos identificados con respecto a las amenazas analizadas, siendo un valor entre 0 y 1. Entre mayor sea la tasa, más vulnerable se considera el activo. Por otro lado, la respuesta de cada activo variará no solo según la amenaza, sino también al nivel de la medida de intensidad escogida, las características del activo (especie y edad) y en algunos casos también del propietario debido a las medidas de respuesta que tenga. La determinación de estos valores se realiza a partir de datos históricos en la medida de lo posible, o a través de criterio experto en colaboración con las empresas y gremios colaboradores.

Teniendo en cuenta que las amenazas pueden afectar tanto al nivel primario como al secundario del sector forestal, se identificaron tres tipos generales de activos: plantaciones, que se subdividen por la especie, edad y propietarios; caminos, a través de los cuales se traslada la madera cosechada; y los centros de procesamiento, donde se trabaja la madera recibida. Para los caminos y centros de procesamiento la pérdida estimada corresponde a tiempos de interrupción operativa de hasta 12 meses. El detalle de los valores de tasas de pérdida para cada amenaza y activo se presentan en la [Tabla 5](#).

Tabla 5. Resumen de la Tasa de Pérdida Histórica por Amenaza, Propietario y Activo

Amenaza	Propietario	Activo	TPH Amenaza Baja	TPH Amenaza Media	TPH Amenaza Alta	TPH Amenaza Muy Alta
Incendios Forestales	Grande	Pino joven	2,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
		Pino intermedio	0,00 %	30,00 %	65,00 %	100,00 %
		Pino adulto	0,00 %	35,00 %	62,50 %	90,00 %
		Eucalipto joven	2,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
		Eucalipto adulto	0,00 %	35,00 %	62,50 %	90,00 %
	PyMP	Pino joven	30,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
		Pino intermedio	0,00 %	75,00 %	100,00 %	100,00 %
		Pino adulto	0,00 %	80,00 %	100,00 %	100,00 %
		Eucalipto joven	30,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %
		Eucalipto adulto	0,00 %	80,00 %	100,00 %	100,00 %
Sísmica	Cualquiera	Caminos	0,01 %	0,12 %	0,97 %	2,90 %
		Centros	0,00 %	0,00 %	0,03 %	0,55 %
Inundaciones	Cualquiera	Pino joven	0,80 %	7,53 %	16,44 %	16,44 %
		Eucalipto joven	0,80 %	7,53 %	16,44 %	16,44 %
		Caminos	0,80 %	7,53 %	16,44 %	16,44 %
		Centros	5,91 %	16,78 %	100,00 %	100,00 %

3.2 Efectos e Impactos Económicos

El modelo económico cuantifica la propagación de las pérdidas estimadas por el modelo de riesgo frente a desastres socionaturales hacia el resto del sistema productivo, vinculando la pérdida física de producción con sus efectos económicos desagregados. Para ello se emplea un modelo insumo–producto estático, basado en una matriz intersectorial de coeficientes técnicos, que permite estimar los efectos directos e indirectos de un *shock* de oferta inicial. La base empírica corresponde a una matriz insumo–producto de 34 actividades económicas, construida por Itrend a partir de la matriz desagregada de 111 actividades del Banco Central.

Al ser un modelo estático con coeficientes técnicos fijos, el modelo no incorpora sustitución de insumos, respuestas adaptativas ni dinámica de recuperación. En consecuencia, los resultados deben interpretarse como impactos de corto plazo bajo una estructura productiva dada.

3.2.1 Pérdida directa y *shock* de oferta

Ante un desastre socionatural, la pérdida directa en el sector forestal se interpreta como daño en inventarios y productos comprometidos para la venta. En términos económicos, estas pérdidas constituyen un *shock* de oferta, al implicar una reducción exógena de la producción disponible y del *stock* ofrecido al mercado para venta en períodos posteriores.

La pérdida de ventas directas D^s se define como:

$$D^s = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+\delta)^t} \sum_{h \in H} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} p_{h,i,j,t} \cdot q_{h,i,j,t} \cdot \alpha_{h,i,j,t}, \quad (4)$$

donde $h \in H$ denota la unidad de análisis, $i \in I$ el tipo de producto y $j \in J$ la empresa o unidad productiva. El período $t = 0$ corresponde al momento del desastre socionatural, mientras que $t > 0$ representa períodos futuros con ventas comprometidas. El parámetro $\alpha_{h,i,j,t} \in [0, 1]$ indica la fracción de la venta perdida en el período t , y $\delta \in (0, 1)$ es la tasa de descuento utilizada para llevar las pérdidas futuras a valor presente¹.

En este contexto, $p_{h,i,j,t}$ corresponde al precio real a precios del productor y $q_{h,i,j,t}$ a la cantidad comprometida para venta o entrega en el período t . El producto de estas entonces representa el valor bruto de la venta afectada, del cual $\alpha_{h,i,j,t}$ determina la proporción efectivamente perdida como consecuencia del desastre.

Así, D^s corresponde al valor presente agregado de las pérdidas directas del sector forestal. Para su incorporación en el modelo económico, esta pérdida se asigna sectorialmente y se expresa como un vector de *shock* de oferta $\Delta \mathbf{s}_k \in K$, cuyos elementos representan la pérdida directa de producción por sector.

3.2.2 Propagación intersectorial

La Matriz Insumo–Producto describe las interdependencias productivas mediante la matriz de transacciones intermedias $\mathbf{Z}$ y el vector de producción bruta $\mathbf{x}$, cumpliéndose que:

$$\mathbf{x} = \mathbf{Z}\mathbf{1} + \mathbf{y}, \quad (5)$$

donde $\mathbf{1}$ es un vector columna de unos e $\mathbf{y}$ define el vector de demanda final. Por otro lado, y dado el carácter oferta–dirigido del *shock*, se adopta el enfoque de Ghosh, definiendo la matriz de coeficientes de distribución $\mathbf{B}$:

¹ Este proyecto utiliza una tasa de descuento de 6,18 % en base a INFOR.

$$\mathbf{B} = \text{diag}(\mathbf{x})^{-1} \mathbf{Z}. \quad (6)$$

La caída total en producción bruta de cada sector k , incorporando efectos directos e indirectos al multiplicar la matriz inversa de Ghosh $(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}$ y el vector de pérdidas sectoriales directas $\Delta \mathbf{s}_k$, es decir:

$$\Delta \mathbf{x}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \Delta \mathbf{s}_k. \quad (7)$$

3.2.3 Pérdida en producción bruta y en PIB

La pérdida agregada en producción bruta de cada sector k y la pérdida total se calcula como:

$$\Delta PB_k = \mathbf{1}^T \Delta \mathbf{x}_k \quad \Delta PB = \sum_{k \in K} \Delta PB_k \quad (8)$$

mientras que la pérdida en PIB se aproxima ponderando la contracción sectorial por los coeficientes de valor agregado $\gamma_k = va_k/x_k$:

$$\Delta PIB = \sum_{k \in K} \gamma_k \cdot \Delta x_k \quad (9)$$

La producción bruta refleja la contracción total de ventas y transacciones intermedias, mientras que el PIB mide exclusivamente la pérdida de valor agregado.

Multiplicadores de un *shock* de oferta

La propagación del *shock* de oferta $\Delta \mathbf{s}_k$ puede resumirse mediante multiplicadores, que capturan el efecto total —directo e indirecto— de una pérdida exógena de producción sobre la economía agregada. Para cada sector k , el multiplicador de producción bruta y de PIB se define como:

$$m_k^{PB} = \frac{\mathbf{1}' \Delta x_k}{|\Delta s_k|}, \quad m_k^{PIB} = \frac{\mathbf{1}' \text{diag}(\gamma) \Delta x_k}{|\Delta s_k|}. \quad (10)$$

La [Tabla 6](#) reporta estos multiplicadores para las actividades del sector forestal, junto con su posición relativa dentro del total de 34 sectores de la matriz insumo–producto, evidenciando heterogeneidad en la intensidad de sus encadenamientos productivos.

Tabla 6. Multiplicadores de un *shock* de oferta y ubicación relativa sobre un total de 34 sectores

Sector	Actividad	Multiplicador de Producción Bruta		Multiplicador de PIB	
Sector de Cosecha de Materia Prima Forestal	Silvicultura	2,41	(5)	1,45	(10)
	Aserradero y Acepilladura	1,60	(20)	1,19	(24)
Subsector de Procesamiento Intermedio	Productos de Madera	1,62	(18)	1,24	(20)
	Producción de Celulosa	1,37	(25)	1,12	(26)
	Muebles	1,22	(30)	1,10	(29)
Subsector de Procesamiento Final	Papel y Cartón	2,08	(13)	1,43	(11)
	Imprentas	2,46	(4)	1,70	(1)

Notas: Posición relativa de los coeficientes en la Matriz Insumo Producto de 34 sectores entre paréntesis.

Fuente: Elaboración propia en base a Matriz Insumo-Producto elaborada por Itrend.

Resultados

4.1 Pérdida Anual Esperada

La pérdida anual esperada se obtiene a partir del cruce de los mapas de amenaza para los distintos niveles de las medidas de intensidad escogidas, el valor expuesto de los activos del sector forestal que pueden verse afectados ante dicha amenaza, y a la vulnerabilidad de estos activos frente a los distintos niveles de intensidad de la amenaza. Así, la pérdida anual esperada representará el valor promedio de pérdidas que se obtendría si se tomaran en cuenta todos los eventos posibles en las regiones analizadas.

Incendios Forestales

El modelo de riesgo desarrollado considera que los incendios forestales solo afectan a las plantaciones y no a los centros de procesamiento. Aún así, las pérdidas del nivel secundario pueden ser estimadas de manera indirecta distribuyendo el valor expuesto de los centros a las plantaciones según el modelo de distribución desarrollado. De esta manera, el modelo permite estimar las pérdidas en términos de superficie, trozas, productos y ventas del sector secundario. Los valores estimados por región y tamaño de propietario se presentan en la [Tabla 7](#).

Tabla 7. Resumen de pérdidas anuales esperadas debido a incendios forestales

Activo expuesto	Unidad	Maule		Biobío	
		Grandes propietarios	Pequeños y medianos	Grandes propietarios	Pequeños y medianos
Superficie	ha	1.619,32	2.538,30	1.561,05	725,26
Trozas	m ³ ssc	600.741,00	841.951,00	505.684,00	226.514,00
Pulpa y papel	ton	50.636,70	84.357,70	67.536,40	30.934,30
Aserraderos	m ³	124.669,00	141.597,00	53.844,60	13.784,40
Astillas	m ³	127.030,00	163.371,00	124.964,00	77.725,50
Postes y polines	m ³	14.450,70	23.161,90	841,47	964,74
Tableros y chapas	m ³	18.467,10	46.047,20	25.357,90	9.013,28
Ventas	mil millones \$	31,12	59,01	42,57	20,51

Sismos

A diferencia de los incendios forestales, la amenaza sísmica no afecta directamente a las plantaciones forestales, sino que genera un impacto principalmente en los caminos de distribución y en los centros de procesamiento de trozas. El modelo de riesgo sísmico desarrollado considera dos componentes de pérdida: (1) las pérdidas asociadas a daños en la infraestructura vial que impiden el transporte de trozas desde las plantaciones hacia los centros de procesamiento, y (2) las pérdidas asociadas a daños directos en los centros de procesamiento que afectan su capacidad operativa. La [Tabla 8](#) presenta el resumen de pérdidas anuales esperadas por región.

Tabla 8. Resumen de pérdidas anuales esperadas debido a amenaza sísmica

Activo expuesto	Unidad	Maule	Biobío
Trozas	m ³ ssc	5.243,07	12.254,56
Pulpa y papel	ton	432,39	1.736,72
Aserraderos	m ³	1.100,78	1.279,16
Astillas	m ³	1.143,91	2.828,14
Postes y polines	m ³	116,36	26,25
Tableros y chapas	m ³	146,54	553,77
Ventas	mil millones \$	0,58	1,63

Inundaciones

El modelo de riesgo de inundaciones desarrollado considera las pérdidas tanto en plantaciones forestales (limitado a plantaciones jóvenes) como en centros de procesamiento industrial (aserraderos, plantas de tableros y chapas, plantas de astillado, plantas de celulosa y plantas de postes) ubicados en zonas expuestas a inundaciones. El resumen de pérdidas anuales para ambas regiones se presenta en la [Tabla 9](#).

Tabla 9. Resumen de pérdidas anuales esperadas debido a inundaciones

Activo expuesto	Unidad	Maule	Biobío
Pulpa y papel	ton	219,66	93.941,60
Aserraderos	m ³	338,89	37.366,36
Tableros y chapas	m ³	56,56	9.761,36
Astillas	m ³	361,42	75.381,43
Postes y polines	m ³	34,39	292,64
Ventas	mil millones \$	0,06	64,51

4.2 Impacto Económico Sistémico

El modelo de Ghosh permite caracterizar al sector forestal como un transmisor de *shocks* de oferta hacia el resto del sistema productivo. En el estudio, cada combinación amenaza-subsector se interpreta como un *shock* exógeno de oferta, correspondiente a la pérdida directa inicial (PAE), la cual se propaga al resto de la economía mediante la Matriz Inversa de Ghosh. Este procedimiento permite estimar, de forma consistente y comparable entre amenazas, el impacto agregado tanto en Producción Bruta como en Producto Interno Bruto (PIB).

Efecto multiplicador

A nivel agregado, el sector forestal presenta un multiplicador de oferta de 1,51, lo que implica que por cada peso de daño directo la economía registra una pérdida total de 1,51 pesos en producción bruta, de los cuales cerca de un 34 % corresponde a efectos de propagación intersectorial. El subsector de Silvicultura exhibe el mayor multiplicador (2,41), reflejando su rol central como proveedor de insumos críticos.

Resultados agregados

La propagación del daño no es homogénea. El sector de la Construcción concentra la mayor parte de los impactos indirectos, debido a su elevada dependencia de insumos madereros.

La Tabla 10 resume el impacto económico nacional por amenaza, distinguiendo entre pérdida directa (para el subsector de Celulosa y papel solo se consideran las pérdidas de celulosa del análisis de riesgo), propagación y pérdidas totales en Producción Bruta y en PIB. Mientras la Producción Bruta captura la contracción total de actividad y ventas, el PIB refleja la pérdida de valor agregado.

Los resultados muestran que la PAE explica la mayor parte del impacto agregado, mientras que la propagación aporta entre un 31 % y un 34 % de la pérdida total en Producción Bruta. En términos comparativos, los incendios forestales concentran las mayores pérdidas nacionales esperadas, seguidos por inundaciones, mientras que los sismos presentan un impacto anual esperado menor.

Tabla 10. Impacto Económico Nacional en la Producción Bruta y en PIB desagregado por amenaza

Amenaza	Pérdida Anual Esperada Modificada (1)	Propagación resto de sectores (2)	Pérdida en Producción Bruta Nacional (3=1+2)	Propagación que llega al PIB (4)	Pérdida en PIB Nacional (5=1+4)
Incendios Forestales	\$138.377	\$70.096	\$208.473	\$24.411	\$162.788
Sísmica	\$1.974	\$976	\$2.950	\$338	\$2.312
Inundaciones	\$55.377	\$24.887	\$80.263	\$8.561	\$63.938

Notas: Montos en millones de pesos del 2022.

Fuente: Elaboración propia en base a Modelo Económico y Modelo de Riesgo de Itrend.

Canal exportador

La pérdida de PIB se explica principalmente por el canal de Exportaciones, que representa cerca de dos tercios a tres cuartas partes del PIB perdido según la amenaza. La Inversión aporta un componente adicional, mientras que el resto de los usos finales domésticos explica una fracción menor. En términos absolutos, los incendios forestales concentran la mayor pérdida anual esperada de PIB.

4.3 Efecto del cambio climático

La misma metodología empleada para el análisis de riesgo se replicó incluyendo el impacto del cambio climático. El análisis no considera modificar el valor expuesto o la tasa de pérdida histórica a 2050, sino solamente los mapas de amenazas ante este nuevo escenario climático. Por lo mismo, solo se consideran las amenazas de incendios forestales e inundaciones dado que no hay evidencia de la influencia de la climatología en la amenaza sísmica.

El modelo climático utilizado corresponde al escenario SSP5-8.5, el que proyecta un aumento generalizado de las temperaturas para el período 2035-2065, con mayores incrementos en la Cordillera de los Andes y el Altiplano, donde podrían alcanzar entre 2,10°C y 2,35°C. En las zonas centro y centro-norte, las temperaturas subirán entre 1,28°C y 2,09°C, mientras que en las zonas sur y austral los incrementos serían menores, oscilando entre 0,74°C y 1,67°C [11].

En el caso de incendios forestales, el escenario climático de 2050 genera un aumento en las pérdidas espera-

das, sobre todo en la región del Maule. En particular, mientras que las pérdidas esperadas en ventas del sector secundario representan un 1,05 % y 0,36 % del valor total estimado para el caso base de 2025, con el escenario SSP5-8.5 estos valores suben a 1,41 % y 0,40 %, representando un aumento del 34 % y del 11 % respectivamente.

Por otro lado, el modelo de inundaciones presenta una disminución en sus pérdidas cuando se proyecta al escenario de 2050. Una explicación de esto se debe a que el aumento de temperaturas genera menores lluvias o desbordamientos en los ríos. Sin embargo, esta modelación no considera el incremento de eventos extremos tales como los ríos atmosféricos que sí han generado pérdidas considerables en el sector debido a la inundación de plantaciones jóvenes.

4.4 Análisis de escenarios

Mientras que la pérdida anual esperada representa el valor promedio de pérdidas considerando todos los eventos posibles ponderados por su frecuencia de ocurrencia, el análisis por periodos de retorno permite caracterizar las pérdidas asociadas a eventos de diferente severidad. Este análisis complementario es fundamental para la planificación de estrategias de gestión de riesgo y la evaluación de escenarios extremos.

Las pérdidas en términos económicos, para las tres amenazas además de los dos modelos climáticos, se presentan en la [Tabla 11](#). Es importante señalar, sin embargo, que los escenarios considerados son altamente extremos al evaluar su impacto completamente en las regiones del estudio. Estos resultados deben ser mirados desde una perspectiva de las posibilidades de análisis para la toma de decisiones, mientras que un uso más práctico correspondería a un desglose por zonas geográficas de interés que presenten características comunes.

Tabla 11. Resumen de pérdidas económicas esperadas para escenarios basados en periodo de retorno (miles de millones de CLP)

Amenaza	Modelo Climático	Periodo de retorno (años)	Maule	Biobío
Incendios Forestales	2025	100	4.642,55	468,83
		500	8.210,06	11.850,55
	2050	100	5.721,91	827,25
		500	8.263,70	12.722,89
Sísmica	2025	100	1,10	1,03
		250	9,38	16,51
		500	46,33	73,13
		1.000	295,85	670,66
Inundaciones	2025	100	31,50	114,33
		500	41,30	152,83
	2050	100	30,20	106,31
		500	41,88	147,54

Diseño e Implementación de una Plataforma Digital Habilitante

Con el propósito de cerrar la brecha entre los modelos científicos y la toma de decisiones políticas, se contempló el diseño de una plataforma digital que permitiera visualizar y gestionar la información generada. El diseño de la herramienta incluyó una serie de entrevistas con los futuros usuarios del Ministerio de Economía (Subsecretaría y Gabinete, DENT DPCI), el Programa Desarrollo Productivo Sostenible, SERCOTEC y CORFO.

El objetivo de las entrevistas fue conocer las principales tareas que tienen los equipos técnicos en el contexto del riesgo de desastres, tales como la formulación de programas o el levantamiento de datos en casos de emergencias. A partir de estas conversaciones, se identificó la necesidad de contar con información técnica y certera para la justificación de programas e instrumentos de inversión con enfoque preventivo frente a desastres. De esta manera, se diseñó el **Visualizador de Datos de Impacto Productivo** con el objetivo de justificar decisiones de inversión, particularmente, para focalizar programas relacionados a la reducción del riesgo de desastres.

El Visualizador permite ver una descripción del sector forestal (ver Figura 6), revisar el nivel de riesgo por unidades territoriales, visualizar estadísticas de impacto en plantaciones y centros de procesamiento, analizar los resultados del impacto económico en el sector forestal y su propagación a otros sectores de la economía. Sumado a esto, presenta también una estimación de los efectos del cambio climático en las pérdidas, así como escenarios específicos que permiten proyectar el impacto de eventos con características particulares para cada amenaza. Finalmente, el Visualizador de Datos de Impacto Productivo fue habilitado en el sitio <https://app.minecon.itrend.cl>, mientras que un visualizador de mapas se encuentra disponible en <https://map.minecon.itrend.cl> para su uso.

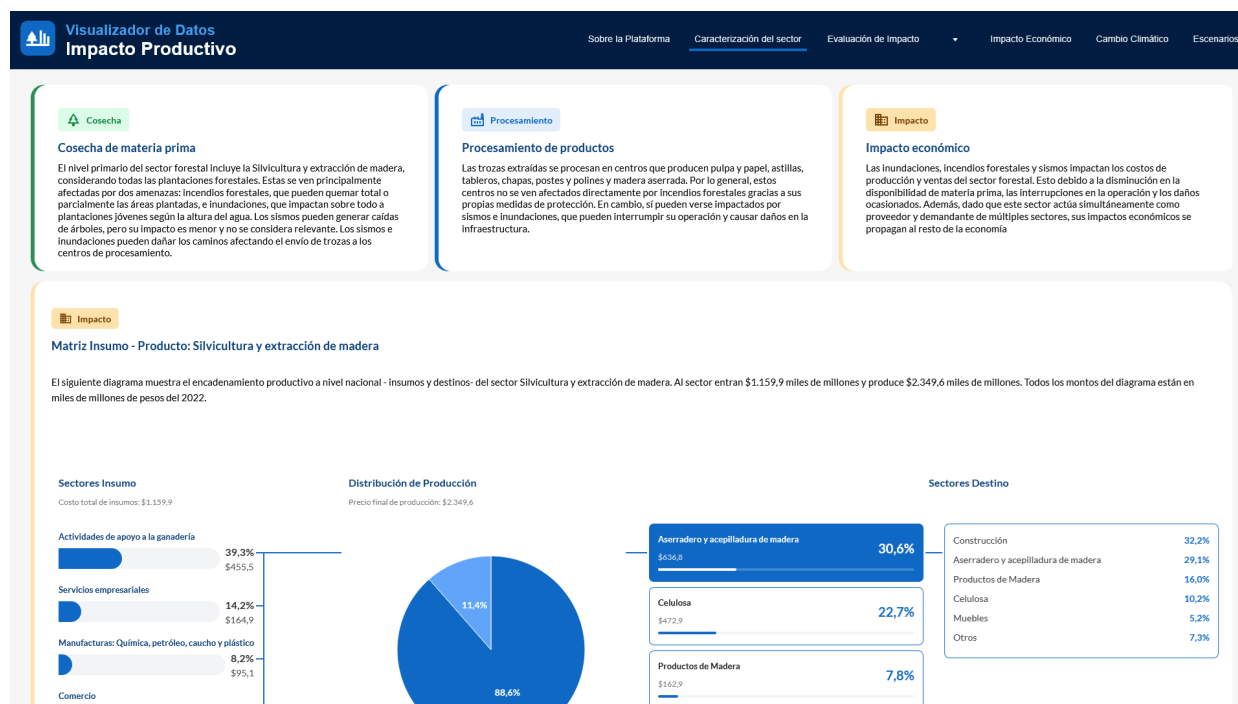


Figura 6. Vista de la Caracterización del sector forestal en el Visualizador de Datos de Impacto Productivo

Recomendaciones para Políticas Públicas

Las recomendaciones de política pública buscan fortalecer la resiliencia del sector forestal en las regiones del Maule y Biobío frente a incendios, inundaciones y sismos. Estas propuestas responden a problemáticas detectadas mediante el modelado de riesgo y económico, y validadas a través de conversaciones con actores clave del sector. El análisis se alinea al marco normativo vigente, específicamente a la Ley 21.364, la Ley Marco de Cambio Climático, la Política Forestal y el Plan Estratégico Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastres, cumpliendo con el mandato de integrar la gestión prospectiva del riesgo en sectores productivos estratégicos del país.

6.1 Problemas identificados

Cuando se analiza el sector forestal, el primer problema que surge es la evidente brecha en la capacidad de inversión y gestión de riesgo entre los actores del sector, lo que ha derivado en una menor participación productiva de los pequeños y medianos propietarios (PYMP). Esta insuficiencia en medidas de mitigación ante incendios forestales se traduce en pérdidas desproporcionadas, como se observa en la región del Maule, donde se proyectan impactos negativos anuales en 2.670 hectáreas de plantaciones y un déficit de 841.951 m³ en trozas, afectando severamente las ventas del sector secundario. Esta vulnerabilidad responde a que los pequeños y medianos propietarios a menudo no cuentan con los recursos económicos o técnicos necesarios para implementar protocolos eficaces ante la compleja realidad climática actual.

Por otra parte, se identificó que el sector forestal posee una estrecha vinculación con otros rubros de la economía nacional, teniendo como pilar fundamental al subsector de la celulosa. Este no solo representa el 63 % de las exportaciones forestales, sino que posee el sexto mayor efecto multiplicador en la economía, estimado en 1,98. Sin embargo, la alta concentración de plantas en zonas expuestas a incendios e inundaciones, especialmente en la región del Biobío, genera un riesgo crítico de interrupción operativa que impacta directamente en el PIB y el empleo local. Esta vulnerabilidad de nodos clave ante eventos climáticos extremos, sumada a la falta de diversificación territorial, amenaza la continuidad de una cadena productiva cuya paralización debilita la competitividad país, tal como se evidenció tras el cierre de la planta Licancel de Arauco S.A.

Un tercer problema es la vulnerabilidad financiera de los pequeños y medianos productores, tanto de plantaciones como de centros de procesamiento, quienes enfrentan un déficit anual de ventas que alcanza los \$59,01 mil millones de pesos a causa de los incendios forestales en la región del Maule. La ausencia de una robustez financiera e instrumentos adecuados de protección incrementa la fragilidad económica de estos actores, lo que no solo arriesga la quiebra de los productores individuales, sino que genera un efecto dominó que deteriora la economía local. En última instancia, esta desprotección desencadena un impacto en cascada sobre sectores dependientes, amenazando la estabilidad del suministro de materia prima para la continuidad de toda la cadena forestal nacional.

Adicionalmente, se identifica la generación de efectos en cascada que provocan *shocks* de oferta y demanda en la economía nacional tras un desastre en el sector. Debido a su rol transversal, una reducción en la producción forestal genera pérdidas amplificadas en rubros estratégicos como la construcción, imprentas y manufactura. Por ejemplo, una caída en la celulosa impacta 1,12 veces en el PIB nacional, mientras que los multiplicadores de demanda pueden superar las 2 veces el impacto inicial en subsectores clave. Esta vulnerabilidad sistémica implica que la destrucción de infraestructura o materia prima no es un problema aislado, sino que detona alzas de precios y restricciones de suministro que comprometen la productividad del país y el bienestar de los consumidores.

finales.

Por último, existe un alto riesgo de pérdida de competitividad sistémica del sector forestal chileno ante la crisis climática, que actúa como un catalizador de eventos extremos de magnitud incontrolable. Expertos advierten que los “megaincendios” proyectados podrían sobrepasar cualquier capacidad de control [12], mientras que los resultados del proyecto cuantifican este riesgo, revelando que el cambio climático multiplicará por 6,7 veces la severidad de las pérdidas económicas en eventos de frecuencia media. Esta vulnerabilidad compromete la viabilidad financiera de los productores y la continuidad operativa en Maule y Biobío, poniendo en jaque el rol estratégico de Chile como exportador global y su capacidad de cumplir con las metas de carbono neutralidad.

6.2 Propuestas y recomendaciones

6.2.1 Medidas de protección financiera

Si bien, el enfoque principal está relacionado a la prevención a través de un enfoque prospectivo, la recuperación sostenible es una fase esencial del ciclo de la gestión de riesgos. A partir de esto es que se propone implementar instrumentos de financiamiento y planificación que permitan una rehabilitación óptima tras un desastre.

En primer lugar, se propone el diseño de seguros forestales con subsidio estatal, inspirados en el modelo de Agroseguros, pero adaptados a riesgos específicos como incendios, inundaciones y terremotos. Este mecanismo busca reducir las barreras de costo para pequeños y medianos productores mediante el cofinanciamiento de primas que no solo cubran el daño físico en plantaciones e infraestructura, sino también las pérdidas por interrupción de la producción. Para potenciar su efectividad, el acceso a este subsidio estaría vinculado al cumplimiento de medidas preventivas, como planes de manejo y cortafuegos, transformando el aseguramiento en un incentivo directo para la reducción del riesgo de desastres.

En segundo lugar, se plantea el establecimiento de un Fondo Nacional de Protección Financiera Forestal, orientado a actuar como un mecanismo de última instancia ante catástrofes de gran magnitud que superen las capacidades de respuesta locales. Este fondo operaría como fuente de capitalización para sistemas de reaseguro o mediante la apertura de líneas de crédito contingente, garantizando la disponibilidad inmediata de liquidez. Al contar con respaldo estatal, este instrumento permitiría ofrecer tasas y condiciones más asequibles que el mercado tradicional, asegurando la resiliencia financiera necesaria para la recuperación de activos tras eventos climáticos extremos.

Finalmente, se propone la creación de una certificación de resiliencia activa dirigida a pequeños y medianos productores, que reconozca formalmente a quienes implementen prácticas verificables de mitigación y mejora operacional. El objetivo de este sello es validar el compromiso del productor con la seguridad de su actividad, lo que permitiría reducir su perfil de riesgo ante entidades bancarias y financieras. Esta mejora en la calificación crediticia facilitaría el acceso a deuda con condiciones comerciales más competitivas, permitiendo a los productores financiar la inversión necesaria en medidas estructurales de prevención y fortalecer la continuidad de la cadena productiva nacional.

6.2.2 Medidas de gestión

La implementación de medidas de gestión busca fortalecer el capital humano, incentivar la inversión preventiva y asegurar la resiliencia operativa de la cadena productiva. El objetivo es permitir que los diferentes actores transiten hacia un modelo prospectivo que fomente la mitigación de las diferentes amenazas.

En el ámbito de la prevención y el fortalecimiento de capacidades, se propone la implementación de programas educativos permanentes orientados a la prevención de incendios forestales y la adaptación al cambio climáti-

co, dirigidos específicamente a pequeños y medianos productores, actores locales y habitantes de la interfaz urbano-forestal. Esta medida se debe complementar con un cambio de enfoque en la inversión, priorizando la prevención por sobre el combate mediante una gestión activa del combustible y prospectiva de los riesgos. Para ello, se sugiere la asignación de fondos a través de programas específicos en comunas de mayor riesgo para financiar prácticas de manejo forestal preventivo y elaboración de cortafuegos, siempre en el marco de una asistencia técnica especializada.

Respecto a los mecanismos de financiamiento e incentivos, se recomienda establecer incentivos tributarios para empresas de celulosa, condicionados a inversiones verificables en medidas estructurales y no estructurales de mitigación, como el financiamiento de programas de manejo de combustible en predios de sus proveedores. Asimismo, se plantea la incorporación de incentivos económicos y pagos por servicios ecosistémicos, tales como programas de captura de carbono o conservación de suelos y recursos hídricos. La implementación de estos instrumentos permitiría que los pequeños y medianos productores accedan a ingresos adicionales y estables, diversificando su economía y promoviendo un modelo forestal más sostenible y resiliente.

Finalmente, para resguardar la cadena productiva, se propone la creación de un *stock* estratégico de productos forestales mediante el establecimiento de centros de acopio de trozas con criterios de resiliencia, localizados estratégicamente fuera de zonas de alto riesgo para asegurar la continuidad operativa del abastecimiento. Esto debe articularse con programas de financiamiento para la movilización interregional de *stock* forestal, cuyo objetivo es amortiguar los shocks de oferta y demanda y reducir los efectos en cascada. Todo lo anterior se enmarca en la necesidad de establecer una política de continuidad operativa sectorial ante emergencias, un instrumento de carácter preventivo y multisectorial diseñado para anticipar y mitigar interrupciones productivas mediante la planificación de alternativas de abastecimiento y la priorización logística.

6.2.3 Medidas estructurales

Una tercera línea de medidas son las intervenciones físicas al territorio. Estas intervenciones deben estar orientadas a disminuir la vulnerabilidad social y del territorio, de manera de reducir la continuidad del combustible y fortalecer la resiliencia de los pequeños y medianos propietarios mediante inversión directa y asistencia técnica especializada.

Se propone establecer líneas de subsidio y cofinanciamiento para la ejecución de medidas de mitigación en predios de pequeños y medianos propietarios. Estas iniciativas inspiradas en lo que se realiza en California, financiarían asesorías técnicas para la elaboración de planes de manejo preventivo y acciones de silvicultura preventiva, con el objetivo de disminuir la carga de combustible y la homogeneidad del paisaje, integrando la diversificación de especies para crear ecosistemas menos susceptibles a la propagación de incendios de alta intensidad.

Por otra parte, en línea con recomendaciones internacionales y del marco normativo vigente nacional, se sugiere la transición hacia “paisajes inteligentes contra el fuego” (*Fire Smart Landscapes*). Una propuesta innovadora es el financiamiento de cortafuegos vivos, consistentes en barreras de especies nativas de menor inflamabilidad localizadas estratégicamente alrededor de plantaciones y centros de procesamiento. Esta infraestructura verde no solo actúa como barrera física que desacelera el fuego y complementa a los cortafuegos tradicionales, sino que también aporta beneficios ecosistémicos, mejora la salud del suelo y contribuye a la captura de carbono, alineando el fomento productivo con la resiliencia territorial.

Conclusiones y desafíos

La gestión de riesgos de desastres es fundamental en el sector forestal. El impacto de las amenazas, y sobre todo de los incendios forestales, dañan una base productiva interconectada con gran parte de la economía nacional. La relación del sector con otras industrias, tales como construcción y el comercio, genera que las pérdidas iniciales se propaguen fuertemente a estos. Además, este riesgo se manifiesta de forma asimétrica según el territorio y el tipo de actor.

Esta situación, por otro lado, se ve fuertemente potenciada por el impacto que genera el cambio climático. El aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones producirían un aumento en las pérdidas globales del sector forestal para el caso de incendios forestales. Y aunque las pérdidas ante inundaciones presentan una aparente disminución, no es posible ignorar el efecto que tendrían los eventos extremos como ríos atmosféricos que cada vez son más frecuentes.

La necesidad de prepararse y mitigar es evidente. Herramientas como el Visualizador de Datos de Impacto Productivo son un aporte concreto para que el Estado tome mejores decisiones basadas en datos técnicos, de manera de poder optimizar el uso de recursos a la mitigación por sobre la respuesta ante emergencias. Esta plataforma permite ver dónde están los puntos más críticos y apunta a facilitar la creación de programas de apoyo específicos para quienes más lo necesitan. Al tener mapas detallados y proyecciones de daños, las autoridades pueden justificar inversiones preventivas que ayuden a reducir el impacto de futuros desastres antes de que ocurran.

También existe un espacio de exploración relacionado a las políticas públicas. La estructura del sector, tanto en su composición interna (pequeños y medianos propietarios en conjunto a grandes empresas) como también el encadenamiento productivo con otros sectores está rodeada de problemas tanto estructurales como de gestión. Al conocer estas realidades, es posible visualizar oportunidades de mejora para reducir los riesgos del sector. Algunas propuestas van en la línea de promover seguros con apoyo estatal para pequeños productores y fondos de emergencia que aseguren liquidez para recuperar la actividad tras una catástrofe, o se propone diseños de paisajes más seguros usando barreras naturales de especies nativas y manejando el bosque de forma preventiva para frenar el fuego.

Sin embargo, la utilidad de estos resultados y de las recomendaciones de política pública dependerá del rol activo que asuman los actores del sector para impulsar transformaciones reales. En este sentido, la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Programa de Desarrollo Productivo Sostenible han dado un paso inicial mediante la promoción de este proyecto. No obstante, la magnitud del desafío requiere un compromiso de largo plazo que involucre de manera sostenida al sector privado y a la academia. Consolidar una colaboración público-privada robusta es una condición indispensable para generar las capacidades que permitan, efectivamente, reducir el impacto de los desastres en el territorio.

Asimismo, este proyecto abre nuevas oportunidades y desafíos. Por ejemplo, existe la oportunidad de aplicar este modelo de análisis a otras industrias importantes, permitiendo una planificación sectorial más robusta. La plataforma digital puede evolucionar para convertirse en un sistema de gestión constante que ayude a adaptarse a las nuevas condiciones que trae el cambio climático, especialmente ante el aumento de eventos extremos. Las recomendaciones de política pública pueden traducirse a propuestas concretas a entidades públicas o impulsar convenios público-privados con planes de trabajo específicos. Finalmente, es clave comprender que invertir hoy en proteger los bosques y las industrias no es solo un costo, sino la mejor forma de asegurar que el sector siga siendo un motor de desarrollo territorial y generación de empleo en las próximas décadas.

Referencias

- [1] C. Zuzak, M. Mowrer, E. Goodenough, J. Burns, N. Ranalli, and J. Rozelle. The national risk index: establishing a nationwide baseline for natural hazard risk in the us. *Natural Hazards*, 114(2):2331–2355, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05474-w>.
- [2] fire2a. C2F-W: Joint version of Cell2Fire (software), 2025. <https://github.com/fire2a/C2F-W>. Última vez accedido el 16 de octubre de 2025.
- [3] Gabriel Candia, Jorge Macedo, Miguel A. Jaimes, and Carolina Magna-Verdugo. A new state-of-the-art platform for probabilistic and deterministic seismic hazard assessment. *Seismological Research Letters*, 90(6):2262–2275, 09 2019. <https://doi.org/10.1785/0220190025>.
- [4] Itrend. Mapas de Amenaza Sísmica, 2022. <https://amenazas.itrend.cl/>. Última vez accedido el 13 de octubre de 2025.
- [5] Sergio Barrientos. Informe técnico actualizado: Terremoto cauquenes 27 de febrero de 2010. Technical report, Servicio Sismológico, Universidad de Chile, mayo 2010. https://www.csn.uchile.cl/wp-content/uploads/2016/06/Informe_Terremoto_Cauquenes_2010.pdf. Última vez accedido el 15 de octubre de 2025.
- [6] Fathom. Fathom — flood risk intelligence, 2025. <https://www.fathom.global/>.
- [7] Pamela Poblete Hernández, Carlos Kahler González, Juan Carlos Bañados Munita, Janina Gysling Caselli, Evaristo Pardo Velásquez, Daniel Soto Aguirre, Daniela Baeza Rocha, Luis Catelacán Vera, Joselyn Hernández Pineda, and Hans Troncoso Recabarren. *Anuario Forestal 2024*. Number 199 in Boletín Estadístico. Instituto Forestal, Santiago, Chile, 2024.
- [8] Carlos Büchner Asenjo, Marjorie Stuenkel, Rodrigo Sagardia Parga, Yasna Rojas Ponce, Felipe Guzmán Vargas, Marco Barrientos Alarcón, Rodrigo Guíñez Olavarría, and Luis Barrales Moyano. Disponibilidad de madera en plantaciones de pino radiata y eucaliptos: regiones de valparaíso a los lagos, período 2021–2051. Technical Report Informe Técnico N° 261, Instituto Forestal (INFOR), Valdivia, Chile, 2022.
- [9] Instituto Forestal (INFOR). Mapa de la Industria Forestal Primaria — Estadísticas Forestales de Chile, 2025. <https://wef.infor.cl/index.php/mapa-industria>. Última vez accedido el 20 de octubre de 2025.
- [10] Instituto Forestal (INFOR). Memoria 2023. <https://www.infor.cl/images/INSTITUTO-FORESTAL--MEMORIA-2023/140/>, 2024. Instituto Forestal, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
- [11] Ministerio del Medio Ambiente, Chile. Contribución determinada a nivel nacional (ndc) 2025-2035. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2025/09/NDC-2025-2035.pdf>, 2025. Documento oficial, Chile. Consultado el 20 de octubre de 2025.
- [12] ME González, Rodolfo Sapiains, Susana Gómez-González, René Garreaud, A Miranda, M Galleguillos, M Jacques, A Pauchard, J Hoyos, L Cordero, et al. Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. *Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)*, 2:84, 2020.

SANTIAGO DE CHILE, FEBRERO 2026

Autores:

Sebastián Castro y Catalina Fortuño.

Participación del proyecto:

Andrea Balia, Benjamín Lyon, Felipe Arróspide, Jorge Vásquez, Paulina Collantes, Astrid Reyes, Dmitry Zavyalov, Pablo Ringler, Esteban Gaete, Ian Rossi, Matías Barra, Víctor Codocedo, Belén Arenas y María Ignacia Rojas.

Colaborador externo:

Felipe Salce.

Supervisión de estilos:

Carolina Vega.

Agradecimientos:

Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño, Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, Corporación de Fomento de la Producción, Forestal Arauco S.A., Empresas CMPC S.A., Corporación Chilena de la Madera A.G. e Instituto Forestal.

Esta publicación debe citarse como:

Instituto para la Resiliencia ante Desastres (2026). *Estimación de riesgo de desastres y análisis de impactos económicos en el sector forestal*. <https://doi.org/10.71578/PGKMIR>

Este proyecto es desarrollado con aportes del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, coordinado por el Comité de Ministros y Ministras para el Desarrollo Productivo Sostenible.



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted es libre de copiar, distribuir la obra en cualquier medio o formato. Todo ello a condición de que dé el crédito a esta obra de manera adecuada, proporcionando un enlace a la licencia, e indicando si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del licenciante. Además de que el material no se use con propósitos comerciales y no se produzcan obras derivadas sobre la obra original.

