

# SNI

Sistema Nacional de Inversiones

## INSTRUCTIVO METODOLÓGICO ESTIMACIÓN DE BENEFICIOS SOCIALES POR REDUCCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES, MODO AÉREO

Documento elaborado por la **División de Evaluación Social de Inversiones**

OCTUBRE, 2024  
V1

## 1. Introducción

En los años recientes, el cambio climático ha acrecentado las condiciones que favorecen los incendios forestales en Chile y el mundo, así como su voracidad. La velocidad del daño provocado y las pérdidas que estos inducen se han incrementado en las últimas dos décadas, donde incendios extremadamente destructivos y difíciles de controlar han impactado la zona centro-sur de nuestro país. Sumado a lo anterior, se espera que estas condiciones se profundicen conforme avance la crisis climática, aumentando la escasez de agua y las olas de calor.

Los incendios forestales, entendidos como una combinación de combustible, temperatura y oxígeno, se combaten mediante la interrupción eficiente de la continuidad del combustible, labor que se realiza desde tierra con brigadistas, maquinaria de movimiento de tierra y camiones aljibes, mientras que en la etapa aérea del combate de incendios forestales se realizan cuatro labores:

- Ataque inicial para evitar el avance del incendio.
- Transporte de brigadistas a zonas de difícil acceso terrestre.
- Reducción de la temperatura en el frente para la labor en tierra
- Apagar o retardar el desarrollo de nuevos focos.

La operación aérea para el combate de incendios desde los distintos aeródromos juega un rol clave en el llamado **ataque inicial**. En efecto, la política de acción de CONAF tiene un énfasis importante asociado a este concepto. Así, el ataque inicial corresponde al conjunto de primeras acciones realizadas para el manejo de un incendio y cuyo objetivo es contener rápidamente el incendio para minimizar los costos y daños, reduciendo el peligro y salvando vidas. Esto significa que, para la etapa aérea, el objetivo es llegar al incendio lo antes posible y con la mayor cantidad de agua. CONAF, en su página web, define dos escalas para los incendios forestales; escala menor, cuando ocasionan daños menores a 200 hectáreas y mayores cuando supera este límite.

En Chile, el 98,8% de los incendios son controlados en ataque inicial, causando menos de 4 hectáreas consumidas por incendio. Sin embargo, el 1,2% que no pudo ser controlado con estas acciones es responsable del 85% de los daños totales generados por incendios forestales<sup>1</sup>. Solo en la temporada 2022-2023 se produjeron aproximadamente 7000 incendios donde se quemaron más de 429.000 hectáreas, el segundo récord histórico después de la temporada 2016-2017, donde la superficie quemada alcanzó las 570.000 hectáreas<sup>2</sup>.

Desde 2010, los incendios de gran magnitud –denominados “eventos de incendios extremos” o “megaincendios”– han incrementado en frecuencia y área quemada, resultando en costos para extinguirlos, pérdida de infraestructura, daño medioambiental y pérdida de vidas humanas sin precedentes. En el caso de los megaincendios del verano 2017, los costos de su extinción -sin incluir los costos económicos producto de pérdidas productivas y de provisión de servicios ecosistémicos-

---

<sup>1</sup> Ministerio de Obras Públicas – Dirección de Aeropuertos, 2022. Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo, Región de Valparaíso. Etapa 5: Propuesta Metodológica de Estimación de Beneficios.

<sup>2</sup> Fuente: [Estadísticas históricas archivos - CONAF](#)

alcanzaron más de USD 350 millones, la mayor cifra que ha tenido el país para hacer frente a este tipo de desastres. Por otra parte, la cantidad emitida de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante este megaincendio alcanzó aproximadamente 100 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> eq, que equivalen a un 90% del total de emisiones nacionales de CO<sub>2</sub> durante el año 2016<sup>3</sup>.

Para las próximas décadas, se espera una mayor incidencia en la ocurrencia de megaincendios. Como es conocido, este tipo de eventos sobrepasan la capacidad de control y de extinción, más allá del presupuesto disponible. Dado lo anterior, el foco debiese rotar hacia la prevención y la reducción del riesgo para las personas y daño material, además de tener un plan de acción claro cuando los incendios ocurran.

En este sentido, como una manera de evitar que incendios menores se conviertan en incendios mayores, se requiere que los aeródromos cuenten con la infraestructura adecuada para permitir la operación de extinción de incendios de manera rápida y segura, cumpliendo la normativa aeroportuaria tanto nacional como internacional. Lo anterior es parte de la labor que desarrolla la Dirección de Aeropuertos (DAP) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y que detalla en su misión como *“encargada de dotar al país de servicios de infraestructura aeroportuaria asegurando estándares de calidad, seguridad y eficiencia para la satisfacción de las necesidades de los diversos actores del sistema de transporte aéreo, contribuyendo al desarrollo económico sustentable y competitividad del país, la conectividad, la integración territorial, la equidad y calidad de vida de las personas”*<sup>4</sup>.

Debido a las respuestas tardías, el número de hectáreas quemadas ha aumentado, lo que se traduce en una mayor demanda de instalaciones para combatir incendios a través del modo aéreo. Esto refleja la necesidad de una infraestructura de combate de incendios forestales que responda de manera eficiente a las emergencias que enfrenta el país, ya que la capacidad de transporte de agua es actualmente subóptima. Identificar, cuantificar y valorizar los beneficios sociales asociados a una rápida extinción de incendios permite orientar los esfuerzos del país a actividades preventivas, de mitigación y control de incendios forestales.

La presente herramienta metodológica busca complementar la evaluación de proyectos de aeródromos y aeropuertos enfocados en el combate de incendios forestales, bajo un enfoque costo-beneficio, identificando, cuantificando y valorizando beneficios sociales asociados a la implementación de infraestructura para combate de incendios, y debe ser utilizada de manera complementaria a las siguientes metodologías vigentes en el sitio web del Sistema Nacional de Inversiones, según corresponda:

- Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria. MSDF, 2014.
- Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Pequeños Aeródromos. MSDF, 2024.

Este instructivo está basado en un estudio desarrollado por la DAP denominado Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo, Región de Valparaíso, Etapa 5: Propuesta Metodológica de Estimación

---

<sup>3</sup> González, M.E et al., 2020. Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.

<sup>4</sup> <https://aeropuertos.mop.gob.cl/acercadeladireccion/mision/Paginas/default.aspx>

de Beneficios Asociados a la Extinción de Incendios Forestales , desarrollado por la empresa consultora Ingerop Chile S.A.

## 2. Alcances generales

En la actualidad el Sistema nacional de Inversiones (SNI) cuenta con dos metodologías que apoyan la formulación y evaluación de proyectos de infraestructura aeroportuaria. La primera corresponde a la Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Infraestructura Aeroportuaria (MDSF, 2014), cuyo alcance está puesto sobre aeródromos y aeropuertos pertenecientes a las redes primarias y secundarias. Los beneficios considerados en esta metodología corresponden a ahorros de costos asociados a mantenimiento y operación de aeródromos y/o aeropuertos, operación de aeronaves, operación del transporte terrestre y ahorros de tiempo total de viaje.

La segunda corresponde a la Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Pequeños Aeródromos (MDSF, 2024), cuyo alcance atañe a pequeños aeródromos, como son definidos por la Dirección General de Aeronáutica Civil (véase punto 3, más adelante). Entre los beneficios considerados en esta metodología se tienen aquellos asociados a ahorro de costos de operación y conservación de los aeródromos y beneficios por ahorro del costo generalizado de viaje. Por otra parte, se presentan beneficios intangibles como la contribución a la preservación de la soberanía y la disminución de los efectos del aislamiento.

Sin embargo, las metodologías vigentes no consideran la estimación de beneficios específicos asociados a la incorporación de infraestructura de apoyo al combate de incendios. Estos beneficios, identificables, cuantificables y valorizables, provienen de la liberación de recursos, ya sea por daño evitado o por ahorro de costos.

Los beneficios asociados a daño evitado producto de la implementación de mejoras en aeropuertos o aeródromos asociados al combate de incendios corresponden a aquellas emisiones de CO<sub>2</sub> que se dejarían de producir debido a la implementación del proyecto, así como de la disponibilidad de hectáreas de bosque, vivienda o infraestructura que se dejan de quemar por un mejor ataque inicial. Los primeros se estiman como la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> por hectárea quemada emitida durante un incendio tipo en Chile multiplicado por el Precio Social del Carbono disponible en el Informe de Precios Sociales vigente, mientras que los segundos se calculan como la cantidad estimada de hectáreas no quemadas por comuna perteneciente al área de estudio, valorizándolas según su tipo: bosque, vivienda o infraestructura.

Por otro lado, los beneficios asociados a ahorros de costos provienen de aquellos recursos que se dejan de gastar por parte de las autoridades correspondientes, ante situaciones de desastres asociados a incendios menores o incendios mayores, es decir, que contemplen más de 200 hectáreas quemadas, y que se encuentran fuera de control. Se estima como el total de hectáreas quemadas multiplicado por el costo social de emergencias, según el tipo de incendio.

En resumen, los beneficios a considerar en proyectos aeroportuarios para el combate de incendios son los siguientes:

- a) Beneficios por ahorro de costos ambientales  $B_{ACA}$
- b) Beneficios por mayor disponibilidad de bosque, vivienda e infraestructura  $B_{ha\ no\ quemadas}$ .
- c) Beneficios por ahorros de costos de emergencia  $B_{ACE}$ .

### 3. Contexto y definiciones

El Código Aeronáutico<sup>5</sup> define como aeródromo toda área delimitada, terrestre o acuática, habilitada por la autoridad aeronáutica y destinada a la llegada, salida y maniobra de aeronaves en la superficie. Estos se dividen en militares y civiles, donde los militares son aquellos destinados exclusivamente a fines militares, mientras que todos los demás son civiles. Los aeródromos civiles se dividen en públicos y privados; siendo los primeros los abiertos al uso público de la aeronavegación y los segundos destinados al uso particular. Por otro lado, el Código Aeronáutico indica que son aeropuertos todos los aeródromos públicos que se encuentran habilitados para la salida y llegada de aeronaves en vuelos internacionales.

En el marco de la Evaluación Social de Proyectos y de lo estipulado en la Metodología de Preparación y Evaluación de Proyectos de Pequeños Aeródromos (MSDF, 2024), en el presente documento se entenderá por pequeño aeródromo a aquellos que cumplen principalmente una labor de tipo social, conectando las localidades apartadas del territorio y permitiendo el contacto entre las zonas rurales y urbanas. La clasificación de redes para los aeródromos del país depende de una serie de criterios acordados en conjunto por la Dirección General de Aeronáutica Civil y la Dirección de Aeropuertos, por lo cual corresponderán a pequeños aeródromos todos aquellos que no se encuentren clasificados en categorías superiores en la última resolución vigente de la Dirección General de Aeronáutica Civil la cual establece la clasificación de la Red Aeroportuaria Nacional. El presente instructivo metodológico puede ser utilizado para el desarrollo de etapas preinversionales. Durante el desarrollo de las etapas inversionales (Diseño o Ejecución), deberán reestimarse los valores de impacto de acuerdo con la mejor información disponible a la fecha.

#### 3.1. Problema que resuelve

Se reconoce la existencia de deficiencias en la infraestructura de aeropuertos y aeródromos de la red primaria, secundaria y de pequeños aeródromos, los que, en la actualidad no se encuentran preparados para recibir aeronaves encargadas de combatir incendios, o bien presentan deficiencias en los sistemas de carguío que aumentan los tiempos de respuesta.

Por ello, el problema que se resuelve con los proyectos que utilizan esta herramienta metodológica es el siguiente:

*“La prestación del servicio para la extinción de incendios forestales desde aeropuertos y/o aeródromos no cumple con los requerimientos actuales”*

---

<sup>5</sup> Ley 18916 Aprueba Código Aeronáutico, Ministerio De Justicia, 1990

### 3.2. Brechas detectadas

Este problema puede descomponerse en las siguientes causas:

- Pistas de largo insuficiente para la operación  
Las aeronaves mayormente utilizadas para el combate de incendios (M18 y AT802) requieren pistas de aterrizaje de, a lo menos, 950 metros de largo para despegar con su peso máximo de carga, en condiciones de altura a nivel del mar. Esto limita la programación de las misiones de combate de incendios, ocasionando mayores costos de operación aeronáutica por tonelada de agua transportada.
- Pistas sin rodaje paralelo  
Al no contar con pistas de rodaje paralelo en aeródromos de combate de incendios forestales, la circulación de aeronaves se debe realizar utilizando la propia pista, aumentando su tiempo de uso y disminuyendo la capacidad de la pista en operaciones/hora. En aquellos casos en que los pilotos deciden no utilizar la pista para estas maniobras, las realizan circulando por sectores de tierra, sin capacidad estructural o demarcación, situación que se encuentra fuera de la norma y que, además, acelera el desgaste de las aeronaves, aumentando los costos de mantención.
- Deficiencias en el procedimiento asociado a la carga de agua.  
El procedimiento asociado a la carga de agua cuenta con dos aspectos que pueden ser relevantes, al limitar los tiempos de respuesta ante emergencias:
  - Sistema de carguío de agua y retardantes  
En el sistema de carguío influye la capacidad del sistema de bombeo, así como el sistema de almacenamiento de agua (estanques, piscinas), mangueras y *manifolds*.
  - Diseño de la plataforma  
Las plataformas no entregan las condiciones necesarias para el posicionamiento de las aeronaves para el carguío, el que se debe realizar, en algunos casos, manualmente con personal de tierra debido al poco espacio disponible y la inexistencia de vehículos para estas maniobras.

En el caso de postularse otra brecha, deberá fundamentarse claramente cómo esto impide o atenta contra el servicio de extinción de incendios.

### 3.3. Bases de datos disponibles

Dentro de la información disponible para realizar las estimaciones propuestas se encuentran las siguientes bases de datos:

### 3.3.1. Bitácoras DGAC de Operaciones Aeronáuticas

Bitácora que registra todas las operaciones aeronáuticas en los aeródromos que cuentan con control de tráfico aéreo de la DGAC. Estas incorporan fecha y hora, tipo de operación (Aterrizaje (A), Despegue (D) o Sobrevuelo (W)), actividad que declara el piloto, tipo de aeronave y matrícula, procedencia o destino, entre otros. Será la Dirección de Aeropuertos (DAP) la encargada de generar las bitácoras para la formulación.

### 3.3.2. Bitácoras CONAF

Data del Sistema de Información Digital para Control de Operaciones (SIDCO): Reporte de manejo interno de la CONAF, que puede ser solicitado para consulta en forma de reportes. Se encuentra organizado de manera centralizada a nivel nacional y da cuenta de los vuelos y las misiones que se administran según necesidad, registrando los siguientes datos: lugar, fecha y hora del despegue; lugar, fecha y hora del aterrizaje, tipo y matrícula de la aeronave, carga de agua o retardante, ID de la misión, entre otros.

### 3.3.3. BBDD para estimar hectáreas quemadas

Para estos fines es posible utilizar la base de datos de CONAF, que presenta las estadísticas históricas de incendios Forestales en Chile<sup>6</sup>, detallado por Ocurrencia (número) y Daño (Superficie Afectada), desde el año 1985.

## 3.4. Modelos de Incendios

### 3.4.1. Proyección de Incendios Forestales

Para cuantificar el daño que generaría un incendio forestal es importante considerar dos variables de medida:

- Frecuencia de ocurrencia de estos eventos, por año calendario
- Superficie quemada

Según las definiciones de magnitud de incendios de CONAF, un incendio menor corresponde a aquel que quema menos de 200 hectáreas, mientras que un incendio mayor es aquel que quema 200 o más hectáreas.

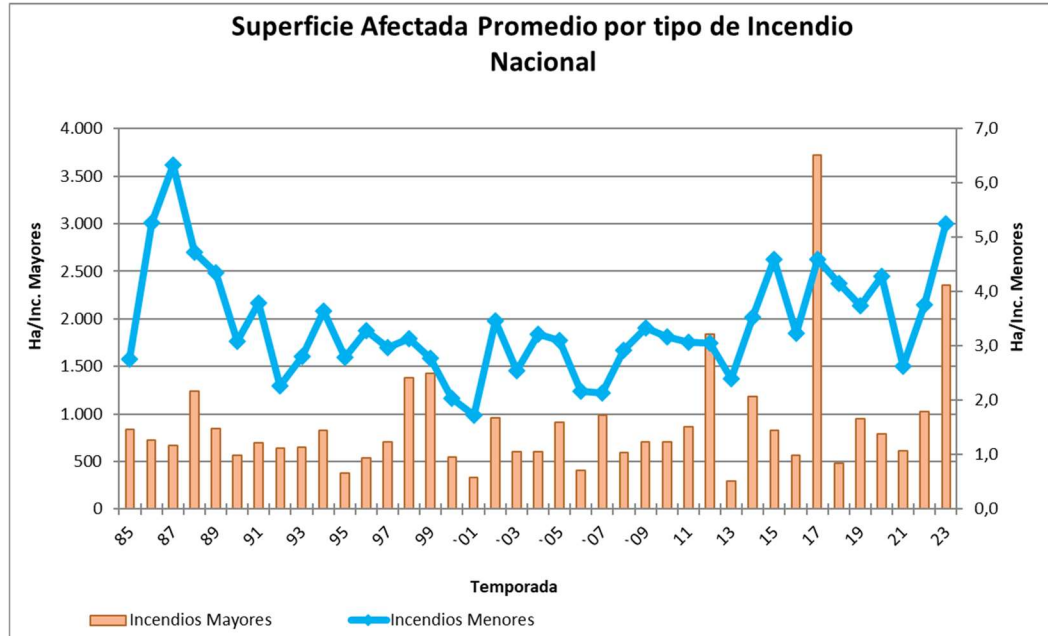
Adicionalmente para asegurar la comparabilidad entre incendios y períodos, es necesario definir lo que es un Evento Equivalente (EE), correspondiente a una medida referencial de superficie quemada tomada desde el último año de la data considerada en el estudio.

---

<sup>6</sup> <https://www.conaf.cl/centro-documentals/estadisticas-historicas/>

Por ejemplo, si se tiene un evento que quema 1000 hectáreas en el año t, mientras que en el año t-j hubo un incendio que quemó 500 hectáreas, el incendio del año t equivale a 2 incendios del año t-j.

Por esta razón, se deben analizar de forma independiente incendios mayores e incendios menores, tanto en ocurrencia como en daño (superficie quemada), donde los primeros representan la mayor parte del daño, mientras que los segundos son más estables en términos de la cantidad y el daño. Esta tendencia se puede observar en el siguiente gráfico:



Fuente: [www.conaf.cl](http://www.conaf.cl)

Para proyectar incendios forestales se debe realizar utilizando los datos históricos de las zonas relevantes de la base de datos de CONAF con criterio de *kernel*, es decir, otorgándole mayor ponderación a los datos más recientes. La proyección debe ser agregada de EE por ocurrencia, daño y escala de incendios.

### 3.4.2. Diferenciales de agua a descargar (Modelo de Transporte de Agua)

Se debe estimar el patrón de agua que es posible descargar en un incendio tipo, que ocurre en cada comuna del área de influencia, ante condiciones de infraestructura y flota disponible. Este análisis debe realizarse a nivel regional, estimando los diferenciales de agua que es posible descargar en un incendio promedio con la flota operando desde el Aeródromo que se está evaluando, en situaciones Base Optimizada y Con Proyecto incluyendo el análisis de red de los aeródromos disponibles para el combate de incendio.



Mediante el cálculo del despacho de aviones desde el o los aeródromos o aeropuertos más cercanos, se entrega un patrón factible de volúmenes de agua a descargar en cada comuna, para distintos instantes del tiempo (diferenciados por cuartos de hora), luego de iniciado el incendio de acuerdo con las capacidades del sistema aeronáutico, para las situaciones Base Optimizada y Con Proyecto. Para ello se deben conocer los patrones iniciales que dependen del diseño de cada proyecto, como son: largo de pista, calles de rodaje, capacidad del estanque de agua de los aviones utilizados, tiempos de despegue, aterrizaje y carga y ciclo de carga.

A su vez, esto permite estimar la disminución de los eventos mayores y menores producto de la mayor cantidad de agua despachada.

Este aumento en los patrones de agua descargada, sumado a la data histórica de daños por incendio de CONAF, permite estimar las hectáreas que se dejarían de quemar ( $H_q$ ) debido a la implementación del proyecto, lo que sirve de insumo para la estimación de beneficios sociales.

### 3.4.3. Modelos de incidencia de descarga de agua en los daños

Se formulan dos modelos de incidencia de la descarga de agua en los daños provocados por los incendios en base a la data histórica de incendios considerando las siguientes variables:

- Comuna y distancia al aeródromo estudiado
- Patrón observado de descarga de agua
- Daño registrado en términos de la superficie quemada

Las distancias y el patrón de descarga de agua se obtendrán considerando la aeronave crítica de diseño, y su rango de alcance.

Como variables de control de los modelos se consideran las condiciones informadas en cada incendio:

- Hora y mes de ocurrencia
- Temperatura
- Intensidad del viento
- Dirección del viento
- Condiciones geográficas y topográficas

Estos datos provienen de los registros de CONAF y data proveniente de las bitácoras de la DGAC.

#### 3.4.3.1. *Modelo de incendios mayores*

Corresponde a un modelo de formulación probabilística que identifica, ante un cambio en los patrones de agua descargada, la probabilidad de que un incendio pequeño ( $I_p$ ) se transforme en un incendio mayor ( $I_m$ ). De esta manera, al reconocer que un aumento en el agua desplegada en la emergencia, producto de la implementación del proyecto, permite que se reduzca la posibilidad de ocurrencia de un incendio mayor.

Lo que se busca estimar son los valores de productividad del agua en términos de reducir la probabilidad de llegar a un incendio mayor.

En el caso de Rodelillo, los valores obtenidos muestran que la probabilidad que un incendio menor se convierta en un incendio mayor se reduce 1,89% por tonelada de agua adicional arrojada durante las primeras 2 horas, y 0,8% durante las dos horas siguientes.

*Tabla 1 Elasticidad Incendios Mayores*

Variable	Elasticidad Incendios Mayores
Agua 1 y 2 horas	-0,0189
Agua 3 y 4 horas	-0,008

Fuente: Estudio DAP - Proyecto Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo (2022)

Luego, una que vez que se estima el aumento de descarga de agua producto de la implementación del proyecto, es posible estimar la probabilidad acumulada de reducción de incendios mayores.

Posteriormente, esta cifra de reducción de la probabilidad de incendios mayores se aplica sobre la cantidad de incendios mayores del escenario actual proyectado para el área de estudio, desde donde se obtiene la cantidad de incendios mayores que se dejarían de producir debido al aumento de descarga de agua producto de la implementación del proyecto lo que, por consiguiente, genera menor cantidad de hectáreas quemadas por todo el horizonte de evaluación del proyecto.

#### 3.4.3.2. *Modelo de Incendios Menores*

Se modela la relación entre la cantidad de agua arrojada a un incendio menor y el nivel de daño que este produce, lo que permite cuantificar las hectáreas no quemadas por mejoras en el patrón de agua arrojada en el combate de incendios, como consecuencia de la ejecución del proyecto.

Lo que se busca estimar son los valores de productividad del agua extra arrojada en términos de reducir porcentualmente el daño en un incendio menor.

Los resultados del modelo para el caso de Rodelillo se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 2 Elasticidad de los incendios menores

Hora Ataque	Elasticidad Incendios Menores
Cuarto 1	0,0890
Cuarto 2	0,0305
Cuarto 3	0,0001
Cuarto 4	0,0000
Cuarto 5	0,0000
Cuarto 6	0,0000
Cuarto 7	0,0000
Cuarto 8	0,0000
Cuarto 9 en adelante	No significativo

Fuente: Estudio DAP - Proyecto Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo (2022)

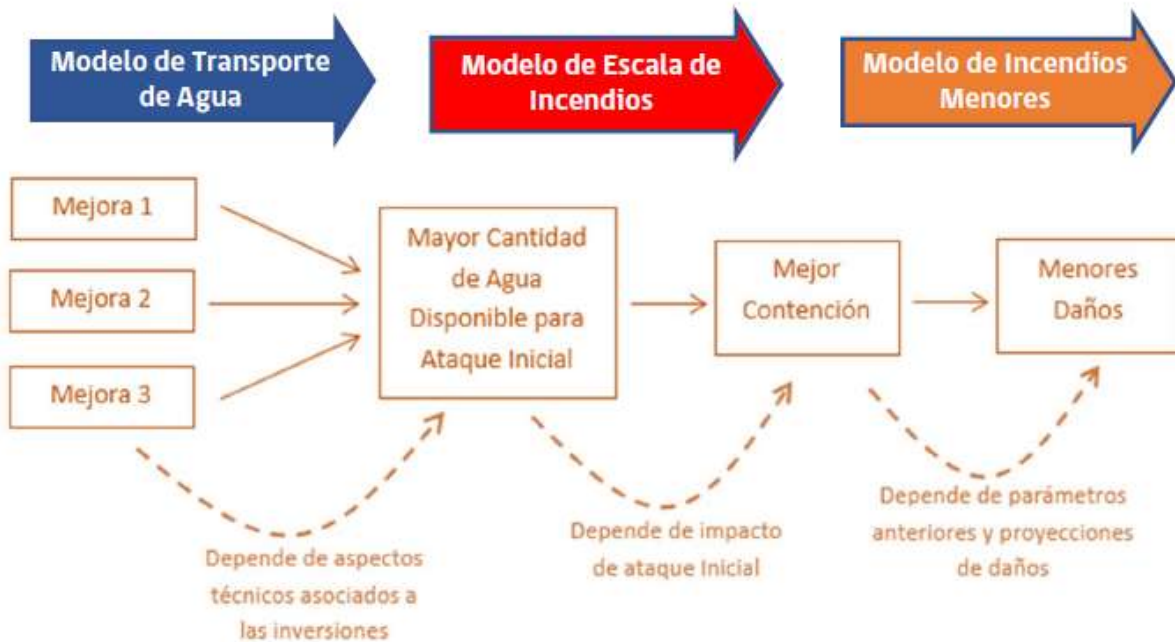
Esto quiere decir que 1 tonelada de agua adicional reduce en:

- 8,9% el daño cuando el adicional se descarga durante el primer cuarto de hora,
- 3,05% cuando el adicional se descarga durante el segundo cuarto de hora,
- 0,01% cuando el adicional se descarga durante el tercer cuarto de hora.
- El agua adicional descargada posteriormente no tiene efecto en el daño

Lo anterior se traduce en que al implementar mejoras en la infraestructura asociada al combate de incendios forestales se generan mejores condiciones para el ataque inicial aeronáutico, lo que a su vez permite una contención efectiva de los focos de incendio, disminuyendo su propagación.

A modo de resumen, se tiene el siguiente esquema:

Figura 1 Resumen de los modelos utilizados para estimar beneficios por reducción de Incendios Forestales



Fuente: Estudio DAP - Proyecto Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo (2022)

#### 3.4.4. Cálculo de Daños en Hectáreas

Para cada comuna perteneciente al área de influencia del proyecto, y para cada año del horizonte de evaluación, se deben calcular los impactos del proyecto sobre la cantidad de incendios mayores y menores, de manera de configurar los escenarios con y sin proyecto.

Esto se realiza utilizando las estimaciones resultantes de los modelos de incendios mayores y menores que muestran los aumentos marginales de descarga de agua por cuarto de hora que se logran con la implementación del proyecto.

A su vez, el modelo de transporte de agua otorga patrones de entrega de agua en el tiempo en los distintos escenarios dentro del área de influencia del proyecto.

Aplicando estas diferencias a los efectos marginales del modelo de incendios mayores es posible estimar la reducción de incendios mayores producto de la implementación del proyecto. Por otro lado, al aplicar estas mismas diferencias en las elasticidades entregadas por el modelo de incendios menores, es posible estimar las reducciones de daños expresados en hectáreas.

## 4. Estimación de Beneficios

Los beneficios identificados corresponden a aquellos asociados a la liberación de recursos, ya sea por daño evitado o por ahorro de costos.

*Tabla 3 Beneficios asociados a reducción de incendios forestales*

Beneficios por daño evitado	Ahorro de costos ambientales
	Mayor disponibilidad de bosque, vivienda e infraestructura
Beneficios por liberación de recursos	Ahorro de costos de emergencia

Para estimar estos beneficios es necesario conocer los parámetros básicos del proyecto, luego estimar las mejoras en los patrones de descarga para así, estimar la probabilidad acumulada de reducción de daños para incendios mayores y menores.

#### 4.1. Parámetros iniciales

Los parámetros iniciales para la estimación de beneficios por reducción de incendios forestales corresponden a aquellos definidos por los detalles propios de la configuración y características del proyecto, es decir, la capacidad de la pista, la capacidad de agua del avión de diseño, tiempo de carga, tiempo en plataforma, tiempo de aterrizaje y tiempo de despegue, para la Situación Base Optimizada y Situación Con Proyecto.

Posteriormente, en base a los datos anteriores, es posible estimar las mejoras en los patrones de descarga de agua entre Situación Base Optimizada y Situación Con Proyecto, en toneladas de agua para cada comuna del área de influencia. Estos datos son propios de cada proyecto y depende únicamente de las condiciones de este.

Como ejemplo se muestra el siguiente cuadro que da cuenta de las mejoras en el patrón de agua descargada en la comuna de Valparaíso producto de la implementación de las mejoras en el aeródromo de Rodelillo:

*Tabla 4 Mejoras en el patrón de descarga de agua en comuna Valparaíso producto mejoras en Rodelillo*

Cuartos (15 min)	Mejoras en el patrón de descarga de agua (toneladas)
cuarto 1	0,00
cuarto 2	1,64
cuarto 3	4,64
cuarto 4	6,49
cuarto 5	10,73
cuarto 6	0,00
cuarto 7	0,00

cuarto 8	0,00
----------	------

Fuente: Estudio DAP - Proyecto Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo (2022)

Utilizando la Elasticidad Incendios Mayores (Tabla 1) y la Elasticidad de los Incendios Menores (Tabla 2) es posible estimar la probabilidad acumulada de reducción de daños respectivamente.

Con estos datos ya es posible estimar la cantidad de hectáreas que no se estarían quemando debido a la implementación del proyecto en cada año, en base a los datos de históricos de eventos mayores y menores proyectados al horizonte de evaluación del proyecto (a partir del año de operación).

## 4.2. Beneficios por Daño Evitado

### 4.2.1. Beneficios por ahorro de costos ambientales ( $B_{ACA}$ )

Corresponden a los beneficios asociados a las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por hectárea quemada que no se estarían emitiendo producto de la implementación u operación del proyecto. Para ello se deberá estimar la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> por hectárea quemada emitida durante un incendio tipo en Chile por cada tipo de plantación  $k$  ( $Emisiones(\bar{H}q_k)$ ) y valorizado con el precio social del CO<sub>2</sub> equivalente publicado en el Informe de Precios Sociales Vigente disponible en el sitio web del SNI, según la siguiente formulación:

$$B_{ACA} = \sum_k Emisiones(\bar{H}q_k) * PSC$$

donde  $k$  corresponde al tipo plantación (pino, eucalipto, matorral, etc.).

La información para este análisis se obtiene desde el Sistema Nacional de Inventario de Gases de Efecto Invernadero del Ministerio de Medio Ambiente<sup>7</sup> particularmente del Sector Uso de la tierra, cambio del uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS), el cual se centra en las emisiones GEI y absorciones de dióxido de carbono que se producen como resultado de los cambios del uso y la gestión de la tierra.

### 4.2.2. Beneficios por mayor disponibilidad de bosque, vivienda e infraestructura ( $B_{ha no quemadas}$ )

Corresponden a la cantidad de hectáreas de bosque, vivienda e infraestructura que dejan de ser quemadas por la implementación u operación del proyecto.

Con los modelos presentados en el punto anterior, es posible estimar la cantidad de hectáreas por comuna perteneciente al área de estudio del proyecto, que dejarán de ser quemadas.

<sup>7</sup> <https://snichile.mma.gob.cl/>

Luego, es necesario identificar qué tipo de recursos se quema por comuna, para ello se acude a la información histórica de CONAF, donde se encuentra la cantidad de bosque de diferentes tipos quemado históricamente (pino insigne, eucaliptus, natural, agrícola, entre otros). Utilizando los daños históricos registrados por comuna, se procedió a estimar un valor medio de hectárea quemada por comuna.

En el caso del bosque se estimará el tipo de plantación principal en el área de influencia del proyecto y se valorizará según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Adicionalmente, con la información disponible en SENAPRED, es posible identificar daños a otro tipo de infraestructuras presentes en el área. En ausencia de un método detallado para obtener factores de corrección a precios sociales, en la aplicación de este instructivo metodológico, tanto la vivienda como la infraestructura se valorizarán a precio de mercado. En el caso de infraestructura pública que preste un servicio a la comunidad y que se encuentre en el área de influencia del proyecto, esta podrá ser valorizada, conservadoramente, como el valor actual de todos sus costos de inversión y operación<sup>8</sup>.

Finalmente, la formulación para la estimación de este beneficio es la siguiente:

$$B_{ha\ no\ quemadas} = \sum_{k=t}^{de\ uso\ se\ suelo} \bar{H}q_{región_k} * VSS_k$$

Donde:

$\bar{H}q_{región_k}$  corresponde a las hectáreas tipo k que están dejando de ser quemadas por región.

$VSS_k$  corresponde al Valor Social del Suelo de tipo k.

Luego, utilizando los valores unitarios presentes en la siguiente tabla es posible estimar los beneficios asociados a disponibilidad de bosque, vivienda e infraestructura que provienen de la materialización del proyecto.

Tabla 5 Itemizado de Costos

Ítem	Unidad	Costos Unitarios
		UF
Bosque Pino	costo/ha	82,7
Bosque Eucalipto	costo/ha	82,3
Plantación Agrícola	costo/ha	71,2
Casas	costo/ha	6,9

Fuente: Estudio DAP - Proyecto Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo (2022)

<sup>8</sup> Esta estimación considera que los proyectos de infraestructura pública de necesidades básicas se evalúan con un criterio de costo-eficiencia, lo que implica que se asume que el valor de sus beneficios es, a lo menos, equivalente al valor actual de sus costos (VAC).

Para el caso del bosque nativo, quien formule estará a cargo de su valorización. En caso de no contar con datos para esta tarea, se deberá considerar como el valor más alto de los entregados en la Tabla 5 Itemizado de Costos.

#### 4.3. Beneficios por ahorro de costos de emergencias ( $B_{ACE}$ )

Corresponde a los ahorros asociados a la no liberación de recursos en situaciones de emergencia por parte de la autoridad (SENAPRED u otro organismo a cargo), ante situaciones de desastres asociados a incendios menores o mayores fuera de control (mayores a 200 hectáreas quemadas).

Cuando el proyecto evita incendios mayores, se liberan aquellos recursos que se hubiesen utilizado para enfrentar la emergencia y dar apoyo a la comunidad tales como:

- Reconstrucción de viviendas.
- Combate de incendios forestales.
- Apoyo a sectores productivos.
- Habilitación de albergues.
- Otros.

Adicionalmente, se tiene la liberación de aquellos recursos asociados a la entrega de bonos producto de la ocurrencia de ciertos incendios, los que incluyen:

- Bonos de arriendo o acogida.
- Bono de reposición de hogares y enseres.

Por lo tanto, dependiendo del incendio que se está considerando, se deben incorporar en la evaluación los siguientes ahorros:

- Incendios mayores:
  - Gastos por emergencia en los que incurre SENAPRED u otra autoridad local, regional o nacional.
  - Bonos de ayuda entregados durante el evento.
- Incendios menores:
  - Bonos de ayuda entregados durante el evento.

##### a) Costo Social de Emergencias<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Estimaciones basadas en el informe “Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia”. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile. 2020.



$$CSE = 9,3 \text{ UF/ha quemada}$$

b) Bonos de ayuda<sup>10</sup>

$$BA = 0,7 \text{ UF/ha quemada}$$

Finalmente, los ahorros asociados a la no liberación de costos de emergencia se expresan de la siguiente forma:

$$B_{ACE} = \bar{H}_q \cdot (CSE \cdot \delta + BA)$$

Donde:

$\bar{H}_q$  son las hectáreas promedio quemadas.

$\delta$  es una variable *dummy* que toma valor 0 cuando es un incendio menor y valor 1 cuando es un incendio mayor.

---

<sup>10</sup> Estimaciones basadas en el informe "Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia". Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile. 2020.

## 5. Bibliografía

- Ministerio de Obras Públicas – Dirección de Aeropuertos, 2022. Mejoramiento Integral Aeródromo Rodelillo, Región de Valparaíso. Etapa 5: Propuesta Metodológica de Estimación de Beneficios. Ingerop Chile S.A.
- Ley 18916. Aprueba Código Aeronáutico (Chile). 19 de enero de 1990.
- González, M.E *et al.*, 2020. Incendios forestales en Chile: causas, impactos y resiliencia. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, Universidad de Chile, Universidad de Concepción y Universidad Austral de Chile.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). Centro Documental Incendios forestales. Estadísticas históricas. En línea: <https://www.conaf.cl/centro-documental/>