Evidencia climática para la gestión de incendios en biomas estratégicos:

Lecciones aprendidas de los estudios de BASE en Amazonía y Pantanal (Brasil) y Patagonia (Argentina)

INFORME COMPARATIVO

Imagen creada a partir de Inteligencia Artificial

Brasil y Argentina

Dos biomas estratégicos

Dos procesos de evidencia climática

Un análisis comparativo

Atribución, proyecciones y análisis de tendencias

Bases para comprender el riesgo futuro

Aprendizajes para la toma de decisiones y el financiamiento climático

Del conocimiento a la acción

Autora principal:
Dra. Julia Mindlin

Coautores:
Dr. Santiago I. Hurtado
Dr. Marcos H. Easdale

Abril 2026

Este informe se desarrolló en el marco de la Iniciativa BASE (Building Approaches to Fund local Solutions with Climate Evidence), coordinada por Fundación Avina. BASE es una iniciativa colaborativa que promueve el acceso de las comunidades locales al financiamiento climático mediante una estrategia basada en tres pilares: financiar, aprender y escalar. Los recursos movilizados se utilizan como un vehículo de aprendizaje para entender cómo el financiamiento climático puede llegar a las comunidades en mayor volumen y con mejor calidad, y desarrollar enfoques simplificados para generar evidencia climática de manera más ágil, simple y conectada con las realidades territoriales. A partir de estos aprendizajes, la iniciativa se propone contribuir a la transformación del ecosistema de financiamiento climático.

Durante 2025 y 2026, BASE concentra sus esfuerzos en la temática de pérdidas y daños generados por los incendios forestales inducidos por el cambio climático, con foco en los biomas de Amazonía y Pantanal (Brasil) a través de una alianza con Fundación Skoll, y la Patagonia Norte (Argentina) por medio de una alianza con Fundación Alimentaris. En este marco, se desarrollaron dos procesos de generación de evidencia climática orientados a profundizar la comprensión del vínculo entre el cambio climático y los incendios forestales, y a producir información útil para la toma de decisiones y el acceso a financiamiento climático. El presente informe compara las metodologías empleadas en ambos procesos, examinando sus alcances, limitaciones y principales aportes, así como los aprendizajes que ofrecen para fortalecer futuros procesos de generación y utilización de evidencia climática.

Más información sobre BASE y sus aprendizajes: www.baseinitiative.net/es

Autora principal: Dra. Julia Mindlin
Coautores: Dr. Santiago I. Hurtado, Dr. Marcos H. Easdale
Informe elaborado en el marco de una consultoría contratada por Fundación Avina. Los derechos patrimoniales del informe pertenecen a Fundación Avina.

Publica: Fundación Avina
En el marco de: Iniciativa BASE
Con el apoyo de: Fundación Alimentaris
Fecha de publicación: Abril 2026
Páginas: 28

Cita sugerida: Mindlin, J., Hurtado, S. I., & Easdale, M. H. (2026). *Evidencia climática para la gestión de incendios en biomas estratégicos: Lecciones aprendidas de los estudios de BASE en Amazonía y Pantanal (Brasil) y Patagonia (Argentina).* Fundación Avina. Informe elaborado en el marco de la Iniciativa BASE, con el apoyo de Fundación Alimentaris.

SÍNTESIS EJECUTIVA

Responder a la amplia pregunta “¿cómo impacta el cambio climático a una comunidad, región o ecosistema?” requiere reconocer que no existe una única forma de generar evidencia climática, sino múltiples formas en las que el cambio climático causa impactos, en distintas escalas temporales y múltiples enfoques metodológicos que permiten abordar los variados aspectos del problema. Por ejemplo, lo que usualmente se conoce como un estudio de atribución climática traduce la pregunta como “¿en qué medida el cambio climático antropogénico modificó la probabilidad o intensidad de este evento extremo en particular?”.

En cambio, un análisis de tendencias en distintas variables climáticas aborda la pregunta “¿cómo han cambiado estadísticamente variables relevantes (temperatura, precipitación, índices de olas de calor) en las últimas décadas?” sin evaluar la contribución del cambio climático antropogénico en dicho cambio.

Estas diferencias no son solo técnicas: definen qué tipo de causalidad puede establecerse, qué nivel de incertidumbre es aceptable y qué tipo de decisiones pueden sustentarse con la evidencia producida. Entender esto es fundamental cuando se desarrolla evidencia relacionada al cambio en el clima de una región con el fin de aplicar a diversos tipos de fondos de financiamiento o para desarrollar planes de adaptación, dado que los diferentes usos requieren distinto tipo de información.

A su vez, existen enfoques más integrados que reformulan la pregunta hacia la predicción como, por ejemplo, “¿cómo evolucionará el riesgo de incendios bajo distintos escenarios de emisiones y cambios en el uso del suelo?” o “¿cómo interactúan clima, vegetación y actividad humana para modular el riesgo actual y futuro?”. Este tipo de preguntas, así como las preguntas de atribución, requieren del uso de modelos acoplados, simulaciones climáticas contrafactuales y proyecciones a futuro, y por lo tanto produce un tipo de evidencia distinta: no solo describe cambios observados, sino que explora mecanismos y futuros posibles.

Por un lado, un estudio en los biomas de Amazonía y Pantanal (Brasil) impulsado gracias a una alianza con Fundación Skoll, que responde principalmente dos preguntas: “¿cuánto de los incendios extremos en 2024 pueden atribuirse al cambio climático antropogénico? y “¿cómo podría evolucionar la probabilidad de incendios bajo distintos escenarios futuros?”, lo que lleva a construir evidencia causal basada en modelización. Por otro lado, un estudio en la Patagonia Norte de Argentina que responde a: “¿cómo han cambiado recientemente las condiciones meteorológicas que determinan el peligro de incendios?”, generando evidencia de tendencia y cambio en variables climáticas relevantes.

La comparación entre ambos enfoques permite concluir que distintas metodologías no compiten entre sí, sino que producen tipos complementarios de evidencia, cada una alineada con diferentes decisiones, en particular:

Análisis de atribución causal:

¿Para qué sirve?
Fundamentar solicitudes de acceso al financiamiento climático, generar información técnica especializada para entender con un alto grado de certidumbre cómo el cambio climático antropogénico contribuyó a modificar la frecuencia, intensidad o temporalidad de un determinado evento (inundación, incendio, etc.)

¿Cuál es su costo?
Mediano a Alto, según trabajo específico y capacidades técnicas del grupo de trabajo.

¿Qué requisitos tiene?
Altas capacidades técnicas e infraestructura (acceso a High Performance Computing (HPC) o al menos grandes capacidades de almacenamiento de datos). Dado que el tema se encuentra en la “frontera” del conocimiento, las metodologías no están ampliamente distribuidas y puede ser realizado por equipos de investigación que ya cuenten con experiencia en el tema.

Análisis de cambios (históricos y proyectados):

¿Para qué sirve?
Informar la gestión operativa del riesgo y la planificación territorial para planificar medidas de adaptación al cambio climático.

¿Cuál es su costo?
Bajo a Mediano, según trabajo específico y las capacidades técnicas del grupo de trabajo.

¿Qué requisitos tiene?
Según trabajo específico, bajas a medias capacidades técnicas, e infraestructura común a moderada (acceso a una PC y moderada capacidad de almacenamiento de datos).
Es posible desarrollarlo haciendo uso de metodologías ya establecidas en el estado del arte.

En este sentido, se concluye que antes de iniciar un nuevo proceso de evidencia es fundamental en primera instancia definir el objetivo/ propósito (¿Para qué se quiere hacer el estudio?), y conocer los costos de cada proceso de evidencia, así como los requerimientos para su realización en términos de recursos y posibilidades técnicas del equipo llevando los estudios a cabo.

En paralelo al desarrollo de los dos procesos de evidencia analizados en Amazonia-Pantanal en Brasil y Patagonia Norte en Argentina, Fundación Avina se propuso desarrollar un Climate Toolkit, con el objetivo de apoyar a profesionales de distintos sectores en el desarrollo de conocimiento climático situado de manera tal que los estudios sean tanto robustos científicamente como útiles para la toma de decisiones relacionadas a la adaptación al cambio climático. A partir de la comparación de los dos procesos de evidencia analizados en este informe, se formulan algunas observaciones en relación a dicho Climate Toolkit, su relevancia y utilidad para la elección de metodologías para el desarrollo de evidencia climática.

Documentos relacionados:

Informe técnico: Cambio climático e incendios forestales en la Patagonia Norte argentina: Evidencia de un nuevo régimen climático que aumenta la peligrosidad de los incendios

Final technical report: Bridging Science and Community Knowledge to Strengthen Climate Change Evidence on Fires in Amazonia and Pantanal in Brazil

Toolkit: Bottom-up approaches to climate evidence

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN 3
2. COMPARACIÓN ENTRE METODOLOGÍAS 6
2.1 Tipo de estudio realizado y justificación 6
2.2 Resumen de las experiencias 14
3. ALCANCES Y LIMITACIONES METODOLÓGICAS EN RELACIÓN CON LA TOMA DE DECISIONES 16
3.1 Atribución 16
3.2 Detección de cambios en el clima 17
3.3 Proyecciones para la adaptación 17
3.4 Resumen de fortalezas y limitaciones de los proyectos 18
4. COMPARACIÓN ENTRE BIOMAS, FASES DEL INCENDIO E IMPACTO DE LA EVIDENCIA CLIMÁTICA PARA EL MANEJO DEL FUEGO 20
4.1 Fase: Prevención 20
4.2 Fase: Respuesta / Atención a la emergencia 20
4.3 Fase: Recuperación 21
5. INFORMACIÓN MÍNIMA VIABLE PARA INCIDENCIA: COMPARACIÓN ENTRE BIOMAS, FASES DEL INCENDIO E IMPACTO DE LA EVIDENCIA CLIMÁTICA E INCIDENCIA POSTERIOR AL PROCESO 21
6. UTILIDAD DEL CLIMATE TOOLKIT REGIONAL A LA LUZ DE ESTA COMPARACIÓN 23
7. CONCLUSIONES 24
8. REFERENCIAS ADICIONALES 26
9. GLOSARIO 26

1. INTRODUCCIÓN

Este documento sintetiza las principales lecciones aprendidas de los estudios realizados en Amazonía-Pantanal (Brasil) y en Patagonia (Argentina), con énfasis en la comparación metodológica y en las implicancias para la construcción de evidencia climática útil para la toma de decisiones. Los conceptos técnicos están desarrollados con mayor detalle en el Glosario.

La comparación busca responder a tres preguntas centrales:

1. ¿Qué tipo de evidencia climática es metodológicamente viable según la disponibilidad de datos y las capacidades técnicas en cada territorio?
2. ¿Cuál es la información mínima que resulta útil para la planificación, la gestión del riesgo y la incidencia política?
3. ¿Cómo puede integrarse el entendimiento generado a través de esta comparación en un Climate Toolkit que apoye a profesionales de distintos sectores en el desarrollo de conocimiento climático situado?

En primer lugar, definiremos algunos conceptos para facilitar la lectura del informe. El **clima** puede entenderse como el conjunto de condiciones atmosféricas medias y su variabilidad, que caracterizan a una región durante períodos homogéneos. Sin embargo, el clima no es estático y estas condiciones medias y/o su variabilidad pueden cambiar, generando alteraciones persistentes en sus estadísticas básicas (medias, extremos o variabilidad), lo que se denomina cambio climático. Estas modificaciones pueden originarse por procesos internos del sistema climático o por factores externos naturales, dando lugar al denominado **cambio climático natural**, asociado, por ejemplo, a variaciones en la actividad solar, erupciones volcánicas o interacciones océano-atmósfera.

En contraste, desde la Revolución Industrial se ha intensificado el **cambio climático antropogénico**, impulsado principalmente por el incremento de ciertas actividades humanas, principalmente el uso de combustibles fósiles y los cambios en el uso del suelo, que traen asociado un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. El análisis instrumental y paleoclimático permite identificar el cambio climático pasado u observado, es decir, las transformaciones ya registradas en el sistema climático. Dado que no contamos con un planeta para experimentar en el laboratorio, la forma de estudiar el impacto de las actividades humanas en el clima es mediante simulaciones numéricas climáticas en situaciones hipotéticas, realizadas usando modelos climáticos.

Con estas simulaciones climáticas se pueden estudiar tanto los climas pasados como los futuros. Simulando el clima pasado, se puede estudiar cómo “habría sido el clima” sin emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicos ni cambios en el uso del suelo y compararlo con un con emisiones de efecto invernadero (es decir, equivalente al actual). De esta forma se puede atribuir el clima observado a la actividad humana. El cambio climático proyectado o futuro, se estudia considerando distintos escenarios de emisiones futuras y explora las posibles trayectorias del clima bajo diferentes condiciones socioeconómicas y ambientales.

En su sentido más amplio, la atribución al cambio climático es un área de las ciencias del clima que busca comprobar científicamente relaciones de causa-efecto en el sistema climático. La atribución de un evento al cambio climático antropogénico puede realizarse mediante diversas metodologías.

Una metodología para abordar la atribución es a través de análisis estadísticos de simulaciones climáticas con y sin gases de efecto invernadero, evaluando el cambio en la

probabilidad de ocurrencia de eventos extremos. Esto requiere necesariamente el uso de modelos climáticos (que simulan la física del sistema) para generar distribuciones estadísticas contrafácticas del clima, en las que no se incluyen las emisiones de gases de efecto invernadero por causas humanas, y comparar dichas distribuciones con simulaciones del clima presente que sí incorporan dichas emisiones (curvas azul y verde de la Figura 1).

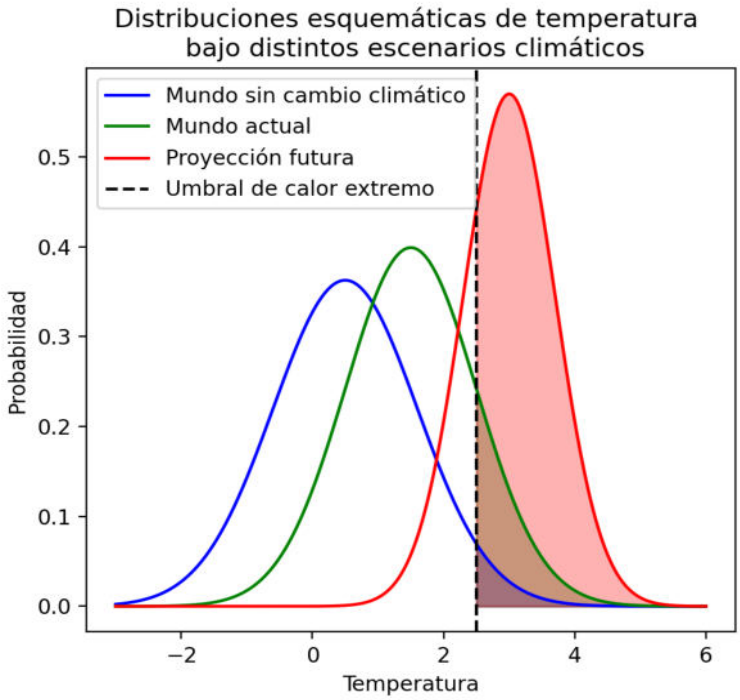

Figura 1: *Distribución estadística de una variable climática (por ejemplo, la temperatura) simulada por un modelo climático bajo distintas concentraciones de gases de efecto invernadero. Los valores en el eje y muestran la probabilidad de ocurrencia de cada valor posible de la variable. La probabilidad de eventos extremos se evalúa calculando el tamaño del área sombreada a partir del valor marcado representa la probabilidad de que el evento ocurra en cada uno de los mundos. El mundo real, en verde, se compara con la distribución en el mundo contrafactual (azul) y la proyección futura (rojo) para atribuir el cambio en la probabilidad de un evento a la actividad humana.*

Por otro lado, utilizando los mismos modelos pueden realizarse estudios de **proyecciones climáticas,** en los cuales en lugar de estudiar simulaciones sin gases de efecto invernadero, se estudian simulaciones con distintas concentraciones de gases que podrían llegar a observarse en el futuro dependiendo de las trayectorias socio-económicas globales. Luego, de la misma forma que en los estudios de atribución, se comparan las probabilidades de ocurrencia de eventos extremos en el clima futuro y el clima presente (curvas roja y verde de la Figura 1).

Así como los modelos climáticos son una gran herramienta para la elaboración de evidencia climática, existen registros observados de distintas variables con suficiente longitud como para analizar el clima en el pasado y compararlo con el clima futuro. De esta forma, igual que con las simulaciones climáticas, dos períodos de tiempo (pasado y futuro) pueden compararse para generar evidencia sobre los **cambios observados** (Figura 2).

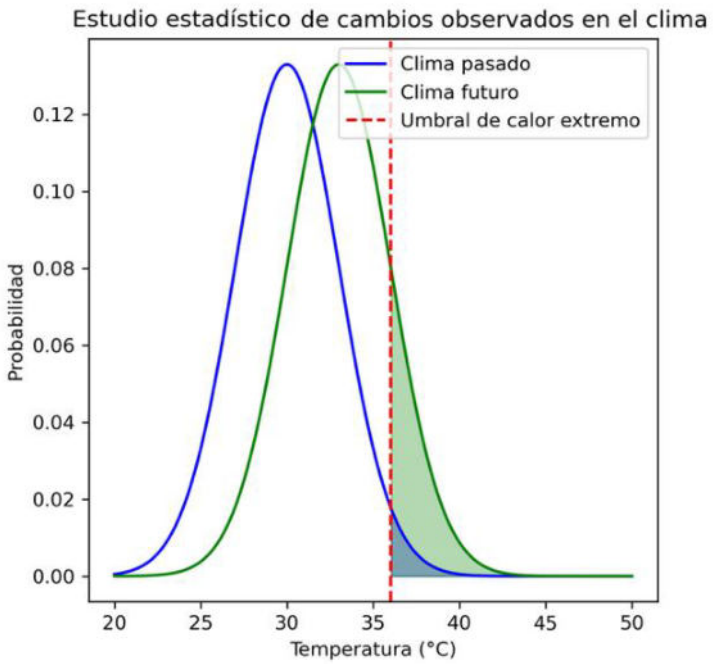

Figura 2: *Distribución estadística de una variable climática (por ejemplo, la temperatura) en un periodo pasado lejano (azul) y un periodo pasado reciente (verde) para estudiar el cambio en la probabilidad de un evento a la actividad humana. También se puede estudiar el cambio en el valor medio de dicha variable, u otros estadísticos relevantes.*

Los estudios que se comparan en este informe utilizaron distintos tipos de metodología para desarrollar la evidencia climática. En el caso de Brasil, se atribuyó un evento extremo puntual -los incendios forestales de 2024 en los biomas de Amazonía y Pantanal-, junto con el modelado del área quemada asociada a los cambios en el clima, *atribuyendo así la magnitud de los impactos al cambio climático antropogénico*.

Por otro lado, para la misma región, se analizaron simulaciones de climas futuros, generando información sobre la probabilidad de incendios de la misma magnitud que el observado en 2024 con proyección hasta 2100. Para Argentina, en particular la región Patagónica, se llevó a cabo una caracterización de los cambios recientes en el clima y en la peligrosidad meteorológica de incendios asociada, *sin analizar climas contrafácticos ni atribuir la intensidad del evento de interés a la actividad humana*.

Ambos estudios fueron acompañados por talleres multisectoriales que enriquecieron y complementaron el estudio. El conocimiento local asociado a los conflictos políticos, la dinámica de la vegetación y la forma de vincularse de las comunidades con el territorio a través del manejo del fuego, son fundamentales para idear y tomar decisiones. Es por esto que resulta clave situar el análisis en el conocimiento y las experiencias de las comunidades locales y tradicionales que han convivido con el fuego durante generaciones y cuyas prácticas aportan a generar evidencia climática más robusta. Con frecuencia invisibilizadas en los diálogos nacionales e internacionales, estas comunidades soportan la mayor parte de los impactos de los incendios y son actores esenciales en la construcción de respuestas justas y efectivas.

En este sentido, la articulación entre el saber científico y local fortalece las capacidades locales para solicitar financiamiento para tareas de prevención, monitoreo y respuesta anticipada ante incendios. Además, es preciso señalar que la evidencia científica tiene

limitaciones, y parte de la robustez de los argumentos científicos radica en que vienen acompañados de un reconocimiento de dichas limitaciones.

Algunas de las limitaciones más importantes en ambos estudios están asociadas a: (1) la resolución (o detalle) espacial limitada de los modelos climáticos, lo que da lugar a resultados generales sin el grado de detalle óptimo para la toma de decisiones; (2) la limitación en el modelado de la vegetación, relevante para el modelado de incendios y de área quemada; y (3) la falta de datos para validar los modelos. Los modelos buscan simular la realidad, la única forma de mostrar la validez de un modelo es mediante la verificación de su aptitud para simular la realidad contrastando con observaciones. Algunas de las limitaciones mencionadas se pueden abordar interactuando con actores locales e integrando el conocimiento y las necesidades locales en el análisis científico como quedó evidenciado en los dos estudios.

En la Sección 2 se comparan los puntos clave que caracterizan las metodologías, y en la Sección 3 se analiza el alcance y la posibilidad de impacto de cada tipo de estudio. La Sección 4 resume la incidencia de cada proceso en el momento de la elaboración del informe. En la Sección 5 se presenta una recomendación sobre la información mínima necesaria para la incidencia, así como recomendaciones para la elaboración de un toolkit, y la Sección 6 sintetiza y concluye el informe.

2. COMPARACIÓN ENTRE METODOLOGÍAS

2.1 Tipo de estudio realizado y justificación

Brasil – biomas de Amazonía y Pantanal: Estudio de atribución climática, proyecciones climáticas y tres talleres[1]

El trabajo se basó en el análisis de la atribución de la influencia antropogénica en el área quemada en Amazonía y el Pantanal en 2024, utilizando un modelo (ConFLAME) desarrollado por Kelley *et al.* (2025) y evaluado para la región de Amazonia-Pantanal en Barbosa *et al.* (2025) así como en la proyección de cambios en el clima y el cálculo del cambio en la probabilidad de ocurrencia de eventos de la misma magnitud.

Metodología

El modelado con el **modelo de impacto** ConFLAME consiste en estimar el área quemada en función de distintos factores que condicionan la ocurrencia y propagación de incendios, tales como las condiciones meteorológicas, la humedad, la disponibilidad de combustible, la ignición y los procesos de supresión. Esto es posible porque el modelo caracteriza matemáticamente la relación entre estas variables y el área quemada. Para generar este tipo de modelo es necesario primero caracterizar esta relación y luego verificar que reproduzca adecuadamente los patrones observados, tal como se mencionó en la Introducción.

[1] El estudio realizado por Maria L.F. Barbosa, Renata M. da Veiga, Igor Ferreira, Douglas I Kelley y Fiona Spuler tuvo una duración de un año. Cabe mencionar que el equipo es autor del informe *State of Wildfires*, trabajo en el cual se incluyó el caso Amazonia-Pantanal.

Figura 3 *Síntesis del marco conceptual que engloba los estudios de atribución y proyección climática realizados para el caso Amazonía-Pantanal analizado en este informe.*

Este proceso requiere datos de alta calidad para la región de estudio. En el modelo ConFLAME, el área quemada depende no solo de variables meteorológicas, sino también de otros factores relevantes, como la disponibilidad de biomasa (que representa el combustible), la densidad de rutas y caminos, el uso del suelo y la extensión de áreas rurales, que sirven como aproximaciones a los procesos de ignición. Para representar estos factores se utilizaron bases de datos regionales publicadas en la literatura científica, así como distintos productos derivados de MapBiomas, tales como MapBiomas Fire Collection 4.

Una limitación importante identificada en el estudio técnico es la escasez de observaciones meteorológicas regionales continuas y homogéneas. Debido a esta limitación, las variables meteorológicas utilizadas como entrada del modelo —principalmente la temperatura y la precipitación— provienen del **reanálisis climático** ERA5, desarrollado por el Centro Europeo de Pronósticos Meteorológicos de Mediano Plazo (ECMWF). Para construir el clima contrafactual —es decir, una representación de cómo habría sido el clima en ausencia de cambio climático antropogénico— se utilizaron simulaciones con y sin gases de efecto invernadero realizadas con el modelo climático HadGEM.

Este modelo fue desarrollado por el servicio meteorológico del Reino Unido (*Met Office*) y las simulaciones habían sido generadas previamente para otro proyecto y estaban disponibles para el equipo previamente. Finalmente, para evaluar la influencia del cambio climático antropogénico en el área quemada del año 2024 particularmente se ajustaron las condiciones meteorológicas de dicho año (tomadas de los datos de ERA5) y se removió la influencia de

las emisiones de gases de efecto invernadero antropogénicas estimadas con las simulaciones.

Las proyecciones futuras de incendios se generaron utilizando el mismo modelo de impacto, ConFLAME, siguiendo el protocolo desarrollado en el informe *State of Wildfires* (véase Jones *et al.*, 2024 para una descripción completa de la metodología). Para esto el modelo se entrena con el mismo conjunto de datos de área quemada empleado en el análisis de atribución, correspondiente al período histórico reciente. Una vez calibrado, el modelo se acopla con las simulaciones de cambio futuro para analizar cómo podría cambiar la probabilidad de incendios bajo diferentes condiciones climáticas futuras.

Para producir estas proyecciones futuras de área quemada, se utilizan simulaciones climáticas provenientes de modelos climáticos globales que forman parte del *Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project* (ISIMIP). Estos modelos proporcionan proyecciones consistentes del clima futuro bajo distintos escenarios socioeconómicos y de emisiones de gases de efecto invernadero. En particular, en el análisis se utilizaron tres escenarios de desarrollo socioeconómico conocidos como ***Shared Socioeconomic Pathways* (SSP)**. El escenario SSP1-2.6 representa un futuro con fuerte acción climática y bajas emisiones; SSP3-7.0 describe un escenario de emisiones intermedias a altas con escasa cooperación internacional y políticas climáticas limitadas; mientras que SSP5-8.5 representa un escenario de altas emisiones asociado a un desarrollo intensivo en combustibles fósiles. Se utilizaron simulaciones de estos experimentos realizadas con cinco modelos climáticos globales (incluído HadGEM, usado para la atribución). Estas simulaciones fueron realizadas previamente por otros grupos de investigación para contribuir al *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP6), que a su vez es la base para el 6to informe del IPCC. Las simulaciones están disponibles para uso público pero su acceso requiere de decenas de terabytes de almacenamiento.

Dos aspectos técnicos adicionales que vale mencionar para dimensionar la complejidad del estudio son (1) la **corrección de sesgos** y (2) el modelado de la vegetación necesario para estimar el área quemada. Los modelos climáticos producen climas sintéticos con sesgos (errores sistemáticos) en las variables de estado (por ejemplo, la temperatura en superficie), las simulaciones no son directamente comparables con el clima observado. Por esto, las variables climáticas proyectadas en el marco del modelo ConFLAME, deben ser corregidas estadísticamente mediante procedimientos de corrección de sesgos antes de utilizarlas. Esto se realiza mediante métodos estadísticos y requiere el uso de datos observacionales. A su vez, la evolución futura de la vegetación y de la disponibilidad de combustible se simula mediante el modelo de vegetación dinámica JULES, alimentado con las mismas condiciones climáticas proyectadas y concentraciones de CO_2 consistentes con cada escenario de emisiones. En resumen, La cadena de procedimientos es la siguiente: Modelado forzante antropogénico a partir de proyecciones socioeconómicas (protocolo ISIMIP) → Modelado climático (protocolo CMIP) → Modelado de vegetación (JULES) → Modelado de área quemada (ConFLAME) → Corrección de sesgos (Figura 3).

Debido a la falta de proyecciones confiables sobre cambios futuros en factores socioeconómicos —como las prácticas de uso del suelo, las fuentes de ignición o las estrategias de manejo del fuego—, estos factores se mantienen constantes en las simulaciones (es decir, para el futuro sólo se modela el cambio en el clima —océano, atmósfera, criosfera, etc.— y la vegetación, fundamental para el ciclo de carbono). En consecuencia, los cambios proyectados en la ocurrencia de incendios se deben principalmente al efecto del clima futuro sobre las condiciones meteorológicas favorables al fuego y la disponibilidad de combustible.

Para cada región, modelo climático y escenario de emisiones se generan grandes conjuntos de simulaciones de área quemada. A partir de estas simulaciones se estima, para cada

década futura hasta el año 2100, la probabilidad de que ocurran temporadas de incendios extremos similares a las observadas recientemente. Estos resultados se expresan como cambios en la probabilidad relativa respecto a una línea de base correspondiente a la década de 2010. La incertidumbre asociada tanto a las diferencias entre modelos climáticos como a la variabilidad natural de los incendios se incorpora explícitamente en el conjunto de simulaciones, lo que permite interpretar las proyecciones en términos de cambios en la probabilidad de eventos extremos (Figura 2), en lugar de predicciones deterministas (un único valor).

Como se mencionó en la introducción, para complementar el trabajo de modelado, se realizaron diferentes instancias de participación para recoger insumos de una diversidad de actores. Se realizaron dos talleres con actores territoriales y un taller multisectorial:

1. Taller con brigadistas voluntarios de los biomas Amazonía, Cerrado y Pantanal.
2. Taller con comunidades indígenas en el Territorio Indígena Caititu, en la Amazonía.
3. Taller multisectorial, con la participación de brigadistas voluntarios, representantes comunitarios, actores gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil y científicos/as, orientado a discutir los cambios observados en los regímenes de incendios en el contexto del cambio climático.

Los talleres mostraron que el fuego no siempre es negativo: existen fuegos “buenos” usados para renovación de pastos y prácticas culturales, mientras que los fuegos “malos” son destructivos o fuera de control. También permite saber que, comparando con las condiciones de hace diez años, las comunidades locales perciben que las estaciones secas son más largas e intensas, la lluvia más escasa, la vegetación más seca y los incendios se propagan más fácilmente. En 2024, los incendios fueron más intensos y frecuentes, iniciados principalmente por actividades humanas y favorecidos por condiciones climáticas secas, afectando fauna, flora, cultivos, viviendas y la salud de las personas. Los participantes destacaron la importancia del manejo integrado del fuego, del rol de las brigadas voluntarias, la educación ambiental y el monitoreo local para prevenir y controlar incendios, así como la necesidad de equipamiento y apoyo gubernamental.

Además de muchos otros resultados derivados del intercambio con el conocimiento local, en particular se modificaron algunos aspectos de la parte técnica de la metodología. A raíz de la información obtenida en estos procesos de escucha e intercambio, se modificaron algunos detalles del modelo ConFLAME. En particular, se entrenó el modelo en meses específicos (temporadas secas y con riesgo de incendios) identificadas localmente en lugar de únicamente trabajar con las definiciones climatológicas.

Resultados

En la Amazonía, se estimó que las áreas quemadas en 2024 serían el doble de grandes debido al cambio climático, y que la probabilidad de que ocurriera el evento sería 1,5 veces mayor. En el Pantanal, el área quemada fue 3,5 veces mayor y la probabilidad de que ocurriera 7 veces mayor, ambos factores también debido al cambio climático. Las proyecciones muestran que, bajo escenarios de altas emisiones, incendios extremos como los de 2024 serán más frecuentes y severos, mientras que la mitigación fuerte limita significativamente este aumento. En conjunto, los resultados subrayan que la combinación de cambio climático, gestión del territorio y prácticas locales determina la severidad de los incendios, y que reducir emisiones y mejorar el manejo del fuego son esenciales para disminuir riesgos futuros.

El análisis de proyecciones indicó que temporadas de incendios extremos comparables a la de 2024 serán cada vez más frecuentes tanto en la Amazonía como en el Pantanal bajo un escenario de calentamiento continuo, pasando de ser eventos excepcionales a ocurrencias

más comunes en las próximas décadas. Bajo una trayectoria de altas emisiones (SSP3-7.0), la probabilidad de estos eventos aumenta aproximadamente entre un 18–30% en la Amazonía y un 17–30% en el Pantanal hacia finales de siglo, con todos los modelos mostrando incrementos significativos a partir de mediados de siglo.

En contraste, una mitigación fuerte alineada con el Acuerdo de París (SSP1-2.6) reduce sustancialmente estos aumentos—a alrededor de 5–10% en la Amazonía y 3–4% en el Pantanal—lo que evidencia los beneficios de reducir emisiones, aunque sin eliminar completamente el riesgo. Incluso bajo escenarios de mitigación, se prevé un incremento en los incendios más extremos. Estas tendencias están impulsadas principalmente por la disminución de la disponibilidad de humedad, que prolonga las condiciones propicias para incendios y debilita los límites naturales a su propagación, con un efecto particularmente marcado en los años más extremos.

Condiciones materiales y técnicas para el desarrollo de este estudio

- Acceso a infraestructura de computación científica (servidores o clústeres High Performance Computing; Figura 4). El espacio de almacenamiento de estos datos ronda varios cientos de gigabytes (mínimo) a algunos terabytes (máximo), dependiendo del número de simulaciones y de modelos climáticos considerados (no especificado en el informe). El costo de estos servidores es muy alto, así como el espacio de almacenamiento. El acceso a esta infraestructura en este caso fue garantizado por la institución a la que están afiliados los investigadores y no por la consultoría. Esto incluye datos climáticos históricos y proyectados, salidas del modelo de vegetación, bases de datos de alta resolución espacial y los grandes conjuntos de simulaciones de incendios generadas por el modelo.

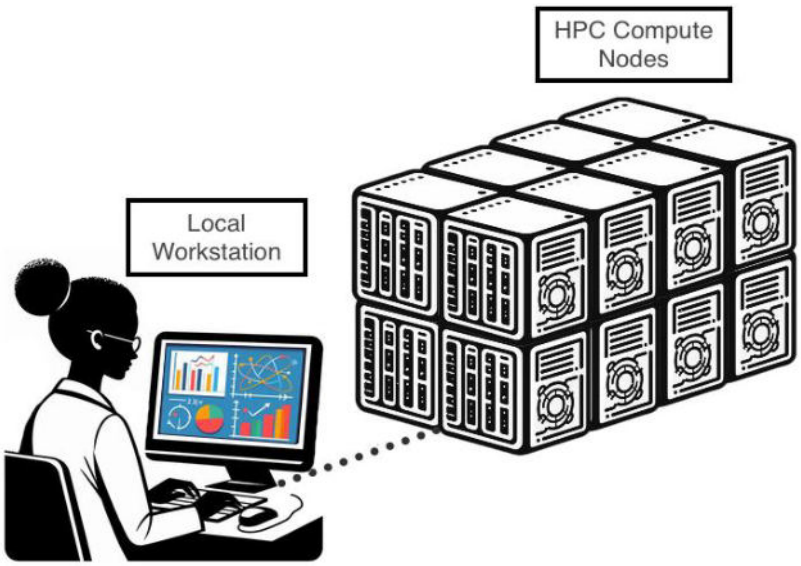

Figura 4 *Ilustración de un sistema de High Performance Computing. El modelado climático requiere del uso de sistemas de almacenamiento y cómputo sofisticados. No puede realizarse con una Personal Computer (PC).*

- Capacidad técnica para manejar grandes bases de datos geoespaciales y climáticas (de decenas a cientos de GB).
- Herramientas de programación científica (principalmente Python, R y herramientas de procesamiento geoespacial).
- Software para la manipulación de datos climáticos en formato NetCDF.

- Capacidades de modelado estadístico y simulación de Monte Carlo para generar conjuntos grandes de simulaciones.

En este caso particular el abordaje fue posible debido a:

- La existencia de estudios previos de atribución en la región (*State of Wildfires* y todo lo referenciado allí).
- La disponibilidad de bases de datos climáticas y de incendios de alta calidad.
- El desarrollo previo del modelo ConFlame por el supervisor de la investigadora contratada y la experiencia específica de la investigadora en la adaptación de este modelo para la región de estudio.
- Perfil técnico del equipo contratado (especializado en modelización climática y área quemada).

La cercanía técnica entre especialistas en clima y fuego permitió un enfoque altamente sofisticado y coherente con los estándares internacionales de atribución.

Patagonia: Análisis de tendencias basado en Fire Weather Index (FWI) y un taller multiactor[2]

En el caso de la Patagonia Norte, el trabajo consistió en un análisis climatológico orientado a evaluar los cambios recientes en las condiciones meteorológicas asociadas al riesgo de incendios forestales en las provincias de Neuquén, Río Negro y Chubut.

Metodología

A diferencia del estudio desarrollado para la Amazonía y el Pantanal —que combinó modelización de incendios, atribución climática y proyecciones futuras—, en Patagonia el enfoque se centró en el análisis estadístico de variables meteorológicas y de índices operativos de peligro de incendios, con el objetivo de caracterizar el cambio del clima en las últimas décadas y cómo este favorece la ocurrencia y propagación de incendios forestales.
En cuanto al conocimiento previo en la región, el informe se centra en un estudio reciente de Barberá *et al.* (2025), que se centra en la probabilidad de incendio según el tipo de vegetación, lo que permite caracterizar el bioma. La principal conclusión de este análisis es que el entorno ambiental influye tanto o más que el tipo de vegetación en la probabilidad de ocurrencia de un incendio. Esto es interesante dado que, en lugar de modelar el área quemada, el informe se concentra primero en explicar el vínculo entre vegetación y clima para luego concentrarse en el clima. En cuanto a estudios climáticos previos, se menciona a Hurtado *et al.* (2023), donde se presenta evidencia de un punto de quiebre en las series temporales hidrológicas entre 2007 y 2010, así como un análisis espacial de dichos cambios, y se concluye que las subregiones donde la precipitación modula los caudales fluviales presentan condiciones más secas, así como el calentamiento generalizado de la región.

El estudio técnico se basó en el análisis de cambios en el clima, contrastando el clima pasado (1988-2006) y el presente (2007-2025) tomando como referencia el punto de quiebre identificado previamente. La significancia estadística de los cambios fue testeada con múltiples métodos; en particular bootstrap, análisis de extremos, test de Mann-Kendall. Las series temporales se obtuvieron a partir del reanálisis atmosférico ERA5-Land, desarrollado en el marco del programa Copernicus por el centro europeo ECMWF. Este conjunto de datos fue seleccionado por su adecuada capacidad para representar el clima de la Patagonia, tal como ha sido validado en diversos estudios recientes.

[2] El estudio fue realizado por Santiago I. Hurtado y Marcos H. Easdale y tuvo una duración de 6 meses para realizar el trabajo.

Se analizaron cuatro variables meteorológicas principales para la dinámica de incendios: precipitación, temperatura del aire a 2 metros, temperatura del bulbo húmedo a 2 metros y velocidad del viento a 10 metros. Se aplicó una corrección de sesgo a la precipitación mediante el modelo estadístico propuesto por Perri et al. (2024), con el objetivo de mejorar su representación en la región. A partir de estas variables meteorológicas se calcularon distintos indicadores climáticos relevantes para el estudio de incendios forestales.
En primer lugar, se caracterizó el cambio en el clima analizando las olas de calor, definidas como períodos de al menos tres días consecutivos con temperaturas superiores al percentil 90 de la serie climática local. A partir de la identificación de las olas de calor se calcularon distintos indicadores anuales, incluyendo su frecuencia, el número total de días bajo condiciones de ola de calor y la duración máxima de estos eventos. También se analizaron cambios en la velocidad del viento por su rol en la peligrosidad de incendios (provee oxígeno, seca material fino, propaga focos, etc.).

En segundo lugar, se caracterizó la peligrosidad meteorológica de los incendios y su relación con el cambio climático. Se calculó el *Fire Weather Index* (FWI) y el *Buildup Index* (BUI). El FWI es un índice meteorológico que resume el peligro diario de incendios forestales integrando información sobre temperatura, humedad, viento y precipitación y permite evaluar tanto la probabilidad de ocurrencia de incendios como su potencial intensidad. El *Buildup Index* (BUI) es un indicador que estima la cantidad total de combustible disponible para la combustión y depende principalmente del contenido de humedad del material vegetal muerto. Este índice constituye uno de los componentes fundamentales del sistema FWI y se utiliza operativamente en el monitoreo de incendios en el bosque andino-patagónico. Esto permitió identificar una finalización más tardía de la temporada de peligro en la cordillera. También se identificaron cambios en la cantidad de días con peligrosidad moderada y alta, así como en la intensidad de los calores extremos.

Finalmente, para cuatro puntos representativos de la región, se analizaron las series temporales completas de las variables meteorológicas y de los índices de peligro de incendios. Este análisis permitió detectar una aceleración del cambio observado, es decir que la tasa de cambio a mayor peligrosidad ha aumentado en los últimos 15 años.

El componente participativo se estructuró en torno a un taller multisectorial con brigadistas voluntarios, comunidades locales e indígenas y representantes del sector público nacionales y provinciales de Neuquén, Río Negro y Chubut. Además se estableció comunicación con El Servicio Nacional de Manejo del Fuego, que no pudo asistir al. Al igual que en el caso Amazonia-Pantanal el trabajo con actores locales dio lugar a modificaciones en la metodología. En particular el uso del índice *Buildup Index* (BUI) se incorporó como sugerencia del Servicio Nacional de Manejo del Fuego. Dado que el BUI se usa en forma operativa junto con el FWI, la comparación de sus tendencias resulta importante para la el Servicio Nacional de Manejo del Fuego, Parques Nacionales y el Servicio de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales (SPLIF). Además, el análisis de las olas de calor y cambios en la dinámica del viento se incorporaron a raíz de la demanda local en el taller.

Resultados

Los resultados muestran que desde 2006/07 la Patagonia Norte experimenta un “quiebre” en términos climáticos, con precipitaciones significativamente menores y temperaturas más altas, especialmente durante la temporada cálida y seca (enero-mayo). Este cambio ha incrementado la evapotranspiración, la desecación de los combustibles y la frecuencia e intensidad de olas de calor, mientras que los vientos máximos en febrero también contribuyen a la propagación extrema de incendios. Entre 1999 y 2022 se registraron 234 incendios mayores a 10 ha, concentrando el 79% del área quemada en solo el 10% de los eventos, principalmente en bosques secos, matorrales y plantaciones. A partir del 2007, la temporada

de peligrosidad de incendios se ha extendido, con aumentos de más de 20 días en algunas zonas y la aparición de nuevas temporadas de alta peligrosidad, particularmente en enero y febrero, junto con un incremento de días moderada y altamente peligrosos y una mayor intensidad de los extremos de FWI y BUI.

En conjunto, estos hallazgos evidencian un aumento robusto y consistente de la peligrosidad meteorológica de incendios, asociado a un cambio estructural del clima regional. Esto implica la necesidad de adaptar las estrategias de prevención y manejo del fuego, incluyendo calendarios operativos más extensos, sistemas de alerta temprana más robustos, asignación prioritaria de recursos en zonas de mayor peligrosidad y la incorporación de escenarios de incendios más severos en la planificación. Las tendencias recientes muestran aceleración en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, lo que exige una gestión proactiva para enfrentar temporadas más largas, eventos más intensos y desafíos mayores en el control de incendios forestales.

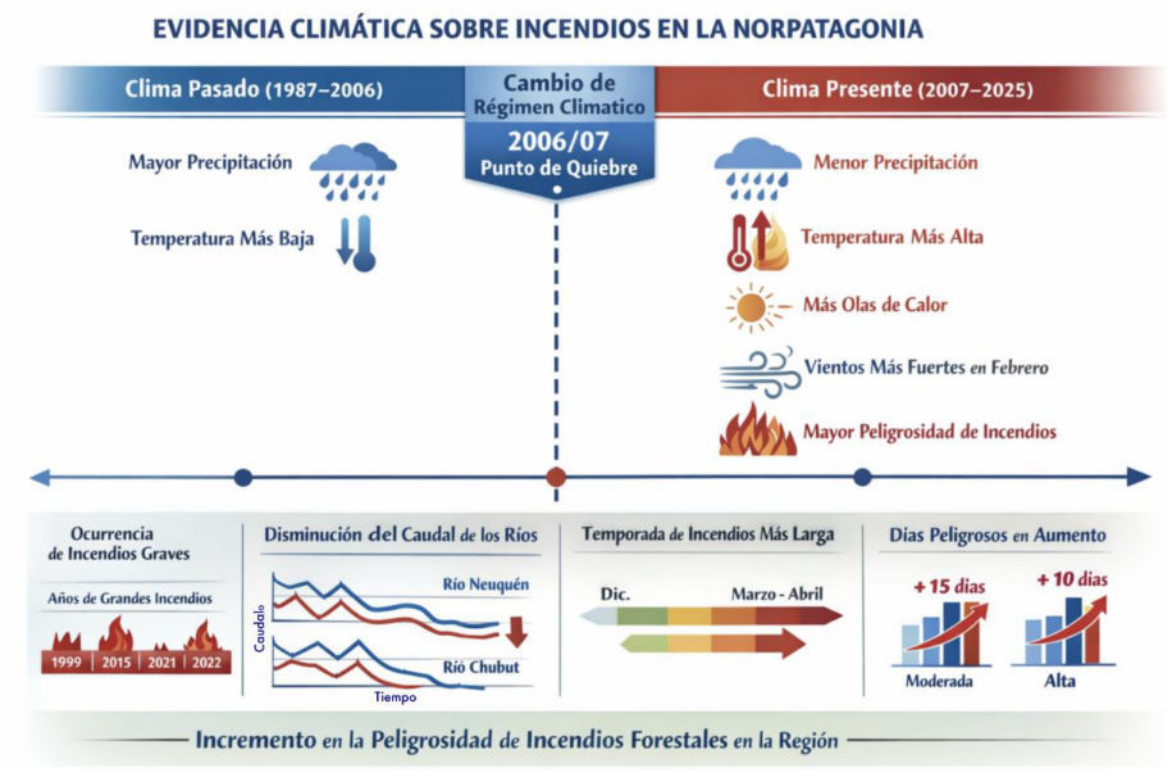

Figura 5 *Resumen de los resultados del análisis de tendencias en Patagonia.*

Capacidades técnicas requeridas para este abordaje:

- Acceso a infraestructura de computación científica para procesar series climáticas de varias décadas. El estudio requiere decenas de gigabytes, considerando los datos climáticos del reanálisis ERA5-Land, las variables derivadas calculadas y las simulaciones utilizadas en los procedimientos de remuestreo estadístico.
- Capacidad para manejar datos climáticos en formato NetCDF.
- Uso de lenguajes de programación científica, principalmente R.
- Implementación de técnicas estadísticas avanzadas (análisis de tendencias, bootstrap, análisis de extremos, pruebas no paramétricas).
- Experiencia en climatología de incendios forestales y en el uso de índices operativos de peligro de incendios.

Este abordaje fue posible debido a:

- Ausencia de un modelo de fuego regional equivalente a ConFlame calibrado para la región.
- Perfil técnico del equipo contratado (estadística aplicada).
- El plazo establecido para el desarrollo del análisis.

Conceptualmente, el análisis de cambios entre clima pasado y presente de las variables analizadas (Figura 2) resultó, además, más accesible para actores operativos y decisores políticos, lo que facilitó su apropiación.

2.2 Resumen de las experiencias

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los diversos aspectos de cada experiencia, Amazonia y Pantanal, y Patagonia.

Tabla 1. Resumen de diferencias entre los dos procesos de evidencia

Aspecto	Amazonía y Pantanal	Patagonia
Objetivo principal	Atribución climática del cambio antropogénico en incendios y proyecciones futuras	Evaluación de cambios recientes en la peligrosidad meteorológica de incendios
Metodología	Atribución climática + Proyecciones hasta 2100	Comparación clima pasado vs presente
Tipo de enfoque	Modelización integrada clima–vegetación–incendios	Análisis climatológico y estadístico
Variable principal analizada	Área quemada	Índices meteorológicos de peligro de incendios
Datos climáticos	ERA5 + proyecciones de modelos climáticos globales (CMIP/ISIMIP)	ERA5-Land
Datos de incendios	MapBiomas Fire	No se utilizan datos directos de área quemada
Modelos principales	ConFLAME, HadGEM, JULES	No se utilizan modelos dinámicos; análisis estadístico
Índices utilizados	Área quemada modelada	FWI, BUI, olas de calor, viento
Métodos estadísticos	Simulaciones Monte Carlo, estadística básica de ensambles de simulaciones climáticos	Análisis de tendencias en las series temporales, bootstrap, análisis de extremos, Mann-Kendall
Escala temporal	Histórico reciente + proyecciones futuras	Series históricas 1950-2025
Infraestructura computacional	Alta (modelos climáticos y simulaciones masivas)	Moderada (procesamiento de datos climáticos y análisis estadístico)

3. ALCANCES Y LIMITACIONES METODOLÓGICAS EN RELACIÓN CON LA TOMA DE DECISIONES

La acción climática se ha expandido significativamente en múltiples niveles de gobernanza —internacional, nacional y subnacional— así como entre actores no gubernamentales, empresas y ciudadanos. Dos acuerdos internacionales proporcionan actualmente el marco general para la acción climática global: el Acuerdo de París y la Agenda de Desarrollo Sostenible 2030. En particular, el Acuerdo de París establece objetivos a largo plazo que orientan acciones locales, nacionales y del sector privado en materia de mitigación, adaptación y financiamiento climático. En el ámbito de la adaptación, el acuerdo propone *"incrementar la habilidad para la adaptación a los impactos adversos del cambio climático, favoreciendo la resiliencia climática"*, así como el establecimiento de un objetivo global de adaptación. Asimismo, busca que los flujos financieros sean coherentes con trayectorias de bajas emisiones de gases de efecto invernadero y desarrollo resiliente al clima. A nivel nacional, la acción climática también ha crecido de forma notable: para mayo de 2021 existían más de 2.315 leyes y políticas relacionadas con el cambio climático en 196 países y territorios. El análisis detallado de estos marcos normativos puede ser útil para evaluar el impacto potencial de distintas metodologías científicas según el contexto político y el tipo de influencia que se busca ejercer.

Los contextos de toma de decisiones en los que puede utilizarse la evidencia climática son diversos, pero generalmente se relacionan con tres grandes áreas: mitigación, adaptación y pérdidas y daños. Dado que el objetivo de este informe es comparar metodologías y su aplicabilidad, el análisis se centra en el tipo de evidencia que cada metodología puede aportar para distintos tipos de decisiones. En términos generales, las metodologías climáticas relevantes para la toma de decisiones pueden distinguirse según tres funciones principales: (1) la atribución de los factores causales que conducen a cambios en el clima; (2) la detección de dichos cambios; y (3) la proyección de cambios futuros en el clima y sus impactos asociados.

3.1 Atribución

En esta sección se analiza en particular el uso de estudios de atribución para abordar decisiones relacionadas con pérdidas y daños basándonos en el trabajo de James *et al.*, 2019 y para el uso de información sobre cambios en el clima observado y proyecciones a futuro, con base en el 6to informe del IPCC *(Intergovernmental Panel On Climate Change*, 2023). La ciencia de la atribución ha adquirido relevancia creciente en los últimos años y está recibiendo más financiamiento que otras áreas de estudio en ciencias naturales. Sin embargo, su aplicación en el ámbito político ha sido compleja debido a que, en muchos casos, la atribución se asocia con discusiones sobre responsabilidad, compensación o justicia climática. No obstante, el objetivo de la ciencia de atribución no es determinar responsabilidades legales o morales, sino mejorar la comprensión científica de los vínculos causales entre el sistema climático y los impactos observados en la sociedad. Como señalan distintos autores, los estudios de atribución pueden estimar en qué medida determinados factores —como las emisiones de gases de efecto invernadero— contribuyen a ciertos eventos o impactos, pero esta "contribución" es distinta de la noción de "responsabilidad", que pertenece al ámbito ético o político (Boyd et al., 2017; Parker et al., 2017).

Diversos trabajos han señalado posibles aplicaciones de los estudios de atribución en el contexto de pérdidas y daños, incluyendo catalizar la acción política, proporcionar evidencia en debates sobre compensación o responsabilidad, e informar la distribución de financiamiento climático. Sin embargo, algunos autores destacan que el valor más inmediato de la evidencia climática podría estar en apoyar la gestión práctica del riesgo climático,

ayudando a responder preguntas como: ¿cómo gestionar los riesgos?, ¿qué medidas pueden minimizar pérdidas y daños?, o ¿qué acciones pueden facilitar la recuperación de las poblaciones afectadas? Estas preguntas no se contestan mediante estudios de atribución climática sino mediante estudios de ciencias sociales o estudios de cambios observados y/o proyecciones.

El uso de ciencia de atribución en contextos de política climática sigue siendo objeto de debate. Algunos actores políticos y tomadores de decisión han expresado preocupación por que la incertidumbre científica pueda retrasar la acción o dificultar el apoyo a regiones con limitada disponibilidad de datos. En este sentido, varios entrevistados del trabajo de Parker *et al.* 2017 señalaron que la prioridad ética debería centrarse en apoyar a las personas afectadas por eventos extremos, independientemente de si estos pueden atribuirse con precisión al cambio climático antropogénico. Como expresó uno de los entrevistados: *"tratar de cuantificar la porción de riesgo atribuible al cambio climático es útil desde el punto de vista político pero contraproducente en términos de reducción de riesgo"*. De forma similar, otros señalaron que "*lo urgente es… en verdad… responder a los eventos extremos hayan sido o no causados por la actividad humana"* y que *"no podemos esperar para que [los climatólogos] determinen en qué grado el cambio climático contribuyo o no"*. De todas formas, existen experiencias exitosas en las cuales estudios de atribución han llegado a ganar casos en la corte, como el reciente en la corte europea de derechos humanos, en la que ciudadanos suizos lograron demandar exitosamente al gobierno por no adaptar a la población frente al cambio climático, haciéndolo responsable por muertes durante olas de calor. En abril de 2024 la corte emitió un fallo en el que hace responsable al gobierno suizo por no proteger a los ciudadanos, exigiendo accionar contra el cambio climático. Debido al costo de los estudios de atribución climática, puede ser recomendable realizarlos en un contexto específico que permita darle uso directo.

3.2 Detección de cambios en el clima

Desde la perspectiva de la gestión del riesgo climático, comprender las causas de los cambios en los peligros climáticos es fundamental para diseñar estrategias efectivas de adaptación y reducción de riesgos. Sin embargo, esto implica no sólo analizar el papel del cambio climático antropogénico en el clima (atribución), y menos aún en un evento puntual únicamente, sino también la caracterización del clima en forma más amplia y otros factores que influyen en el riesgo, como la exposición y la vulnerabilidad. En este sentido, los estudios de detección de cambios climáticos, la caracterización del nuevo clima y sus impactos, así como las proyecciones climáticas futuras, constituyen herramientas clave para informar la planificación de la adaptación.

3.3 Proyecciones para la adaptación

Las proyecciones climáticas constituyen una herramienta central para la planificación de medidas de adaptación, ya que permiten estimar cómo podrían evolucionar los peligros climáticos bajo distintos escenarios de emisiones y trayectorias socioeconómicas. En el marco del Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6), las proyecciones climáticas se basan en el uso de modelos climáticos globales y regionales que simulan la respuesta del sistema climático a diferentes trayectorias de emisiones de gases de efecto invernadero.

A diferencia de los estudios de atribución, que buscan estimar la contribución del cambio climático antropogénico a eventos o impactos observados, las proyecciones se orientan a estimar cambios futuros en variables climáticas y en la frecuencia o intensidad de eventos extremos, bajo diferentes escenarios de calentamiento global. Según el AR6, existe alta confianza en que el aumento de la temperatura global continuará intensificando muchos

extremos climáticos —incluyendo olas de calor, sequías y condiciones favorables para incendios— en diversas regiones del mundo.
En el contexto de la gestión del riesgo de incendios, las proyecciones climáticas pueden utilizarse para estimar cómo podrían cambiar indicadores de peligrosidad meteorológica, como el Fire Weather Index (FWI), la duración de las temporadas de fuego o la frecuencia de condiciones meteorológicas extremas favorables a incendios. Este tipo de información puede apoyar decisiones estratégicas relacionadas con la planificación de recursos, la adaptación de sistemas de manejo del fuego y el diseño de políticas de reducción de riesgo a mediano y largo plazo.

Sin embargo, la utilidad práctica de las proyecciones climáticas depende en gran medida de su traducción a escalas relevantes para la toma de decisiones y la comunicación efectiva. Los resultados de los modelos climáticos suelen expresarse en términos probabilísticos y con distintos niveles de incertidumbre, lo que puede dificultar su interpretación por parte de actores operativos. Además, la generación de proyecciones robustas requiere capacidades técnicas y recursos significativos, incluyendo el uso de modelos climáticos, técnicas de regionalización y análisis estadísticos especializados.

Por esta razón, distintos estudios señalan que el valor de las proyecciones para la toma de decisiones no depende únicamente de su sofisticación científica, sino también de su capacidad de ser comunicadas y adaptadas a las necesidades de los usuarios, por ejemplo, mediante indicadores operativos o escenarios de riesgo relevantes para la gestión territorial.
En las secciones siguientes, el análisis se orienta específicamente a cómo distintos procesos de generación de evidencia climática pueden aplicarse a la gestión del fuego, considerando especialmente acciones para la adaptación y pérdidas y daños.

3.4 Resumen de fortalezas y limitaciones de los proyectos

En la Tabla 2 se muestra un resumen comparativo de las fortalezas y limitaciones de los distintos tipos de evidencia climática: atribución, cambios observados, y proyecciones climáticas.

Tabla 2. Resumen comparativo de las fortalezas y limitaciones de cada proceso de evidencia

Dimensión	Estudio de atribución	Análisis basado en FWI y cambios observados	Proyecciones climáticas
Tipo de enfoque	Atribución climática formal con escenarios factual y contrafactual	Análisis de tendencias y cambios en estadísticos de peligrosidad meteorológica	Simulación de cambios futuros mediante modelos climáticos bajo distintos escenarios de emisiones
Fortalezas	• Permite afirmar causalidad vinculada al cambio climático antropogénico. • Genera evidencia sólida para debates para el financiamiento climático. • Puede posicionar el debate en espacios internacionales.	• Mayor comprensión por parte de actores locales. • Más rápido de producir. • Directamente aplicable a planificación operativa. • Suficiente para justificar extensión de temporadas y asignación de recursos.	• Permite anticipar cambios futuros en condiciones de riesgo. • Útil para planificación estratégica y adaptación a mediano y largo plazo. • Puede informar políticas públicas y planificación de infraestructura o recursos.
Limitaciones	• Alta complejidad técnica y costos elevados. • Requiere expertos y herramientas sofisticadas. • Dificultad de traducción a actores operativos. • No necesariamente mejora decisiones tácticas inmediatas.	• No permite atribución formal al cambio climático antropogénico. • Menor peso en debates internacionales sobre responsabilidad climática. • Puede ser cuestionado en discusiones sobre causalidad.	• Alta incertidumbre asociada a escenarios y modelos. • Requiere capacidades técnicas especializadas. • Resultados probabilísticos pueden ser difíciles de interpretar para actores operativos. • Necesita procesos de traducción a indicadores útiles para la gestión.

.

4. COMPARACIÓN ENTRE BIOMAS, FASES DEL INCENDIO E IMPACTO DE LA EVIDENCIA CLIMÁTICA PARA EL MANEJO DEL FUEGO

4.1 Fase: Prevención

- Amazonía-Pantanal:
  Atribución: El estudio muestra evidencia de que el cambio climático antropogénico genera mayores impactos y es evidencia muy robusta de la necesidad de prevención en un sentido amplio, pero no genera información para la respuesta inmediata. En este sentido, el estudio no analiza el cambio en frecuencia o extensión de la temporada de riesgo, pero genera evidencia contundente para argumentar que la probabilidad de incendios aumenta con el cambio climático.

  Proyecciones: muestran que, si un evento de las mismas características que el año 2024 ocurre, el área quemada será, con alta probabilidad, mayor. Este tipo de evidencia puede ser muy poderosa a la hora de argumentar a favor de la inversión para la prevención ya que el evento se encuentra en la memoria de las comunidades locales y la sociedad en general. Sin embargo, el análisis muestra valores probabilísticos para el área entera y la región quemada en particular, lo cual no permite argumentar sobre la necesidad de prevención de forma muy genérica.

- Patagonia:
  Énfasis en extensión de temporada y mayores condiciones de riesgo comparado con el clima pasado reciente. Esto permite planificar alrededor de las fechas de riesgo, evidencia estadística robusta sin atribución directa al cambio climático antropogénico. A su vez, permite argumentar la necesidad de inversión en prevención. El análisis mensual y espacial de los cambios en toda el área de estudio permite informar la planificación de forma específica informando qué meses y qué regiones dentro de la Patagonia andina están más amenazadas.

4.2 Fase: Respuesta / Atención a la emergencia

- Amazonía-Pantanal:
  A partir de los talleres se identificó el rol fundamental que cumplen las brigadas voluntarias, que son la primera línea de respuesta. El estudio de atribución permite anclar la evidencia climática en un evento del pasado reciente, lo cual posibilita explicar el rol de las brigadas en dicho evento e ilustrar el impacto, magnitud y relevancia de su trabajo. Sin embargo, el estudio en sí no brinda información directa para el contexto de respuesta en un sentido operativo.

- Patagonia:
  En particular este estudio tuvo impacto directo en planificación de medios aéreos, ya que permitió argumentar que debía extenderse el tiempo de disponibilidad de los mismos para la temporada de incendios 2025-2026. Si son realizados en el momento oportuno, el estudio de los datos observados puede ser utilizado para el momento de respuesta.

4.3 Fase: Recuperación

- Amazonía-Pantanal:
  En las proyecciones muestran que, si un evento de las mismas características ocurre, el área quemada puede ser mayor. A su vez comunican la incertidumbre de dichas estimaciones y las regiones donde los impactos podrían ser mayores. En este sentido, el estudio puede orientar la recuperación de los ecosistemas y principalmente servir en contextos de toma de decisiones o gestión de recursos donde demostrar la relación entre impactos y cambio climático pueda ser relevante.

- Patagonia:
  La información es más útil para el rediseño adaptativo del sistema de manejo del fuego.

5. INFORMACIÓN MÍNIMA VIABLE PARA INCIDENCIA: COMPARACIÓN ENTRE BIOMAS, FASES DEL INCENDIO E IMPACTO DE LA EVIDENCIA CLIMÁTICA E INCIDENCIA POSTERIOR AL PROCESO

Una pregunta central emergente de la sección anterior es: ¿cuánta sofisticación técnica es necesaria para que la evidencia sea útil?

A lo largo del proyecto en Amazonia/Pantanal se realizaron las siguientes acciones orientadas a compartir los resultados con actores clave en el ámbito científico, político y operativo:

1. Un artículo tipo *comentario* en una revista de la familia de *Nature* y un *policy brief* que fue distribuido entre tomadores de decisión, incluyendo un miembro del Parlamento Europeo y representantes del Ministerio de Medio Ambiente de Brasil.

2. Dos eventos paralelos en el marco de la COP30: uno en el pabellón del Reino Unido centrado en la Amazonía y otro evento oficial bajo la UNFCCC enfocado en el Pantanal, contribuyendo a vincular los hallazgos del proyecto con los debates internacionales sobre política climática. En estos espacios se puso especial énfasis en la necesidad de que los impactos de los incendios extremos sean explícitamente reconocidos dentro de los mecanismos de financiamiento de pérdidas y daños. En este sentido, se destacó que el enfoque del proyecto—basado en la combinación de análisis de atribución climática con conocimientos y experiencias de comunidades locales y tradicionales— puede contribuir de manera directa a fortalecer la base de evidencia necesaria para la evaluación de pérdidas y daños y la toma de decisiones en materia de financiamiento climático.

3. Presentaciones informales en formato virtual en instituciones como el UK Centre for Ecology & Hydrology y el UK Met Office, y se prevé la participación en eventos científicos internacionales como la Asamblea General de la European Geosciences Union en mayo 2026.

4. Encuentros del grupo My Climate Risk del World Climate Research Programme en Filipinas en junio de 2026, ampliando el alcance del proyecto.

5. Se proyecta la presentación de los resultados en una revista científica con revisión por pares.

En Patagonia, un análisis basado en el *fire weather index* y cambios observados fue suficiente para lograr las siguientes acciones:

1. Se recibió una solicitud del gobierno de Río Negro para incorporar capas de riesgo a un proyecto de planificación territorial que se encontraba en desarrollo. Si bien esta colaboración finalmente no se concretó, la solicitud evidenció un claro interés institucional en integrar información climática en procesos de planificación.

2. Luego de la realización del taller multisectorial, el meteorólogo a cargo del Servicio Nacional de Manejo del Fuego solicitó una reunión con el equipo de investigadores. Durante el encuentro manifestó su interés en el informe y señaló que el análisis realizado con datos de precipitación resultaba particularmente relevante. Asimismo, propuso la realización de otros análisis que podrían contribuir a mejorar la comprensión de las condiciones climáticas asociadas al riesgo de incendios.

3. Por otra parte, un representante del CONICET y referente argentino en la articulación entre gestión e investigación convocó al equipo de investigación con el objetivo de explorar oportunidades de financiamiento para el desarrollo de sistemas de monitoreo, pronóstico y alerta temprana. En ese contexto destacó que los desarrollos generados por el proyecto podrían tener aplicaciones tanto en el ámbito de la formulación de políticas públicas como en la gestión operativa del manejo del fuego.

4. Asimismo, el equipo fue invitado a participar en el proceso de elaboración coparticipativa de un mapa de riesgo de incendios para la provincia de Río Negro, iniciativa que forma parte de un proyecto financiado por fondos climáticos internacionales. Este proceso se encuentra actualmente en desarrollo.

5. En el plano operativo, el Servicio de Prevención y Lucha contra Incendios Forestales (SPLIF) solicitó la elaboración de un informe técnico específico para respaldar negociaciones con el gobierno nacional respecto a la disponibilidad de medios aéreos para el combate de incendios. Históricamente, estos recursos se encuentran disponibles hasta fines de febrero o comienzos de marzo. Sin embargo, el SPLIF busca ofrecer argumentos técnicos sólidos para solicitar una extensión de ese período demostrando que los cambios observados en el clima han prolongado la temporada de peligrosidad de incendios.

6. Finalmente, una diputada nacional invitó al equipo a participar en una reunión en la Cámara de Diputados para discutir la problemática de los incendios forestales y las posibles contribuciones de la evidencia científica a las políticas públicas en esta materia.

7. Se proyecta la presentación de los resultados en una revista científica con revisión por pares.

8. Si bien en el marco de la investigación para Patagonia no se realizó el análisis de atribución antropogénica, recientemente el World Weather Attribution junto con investigadores de la región realizó un estudio que concluyó que el cambio climático antropogénico aumentó la probabilidad de condiciones meteorológicas extremas potencialmente vinculadas a la peligrosidad de incendios forestales. Esto puede adquirir mayor relevancia estratégica para el acceso a fondos climáticos internacionales, especialmente multilaterales

Todos los resultados enumerados demuestran que ambos procesos de evidencia lograron generar impacto en distintas esferas. Aún sin presupuestos grandes y analizando únicamente el clima observado es posible realizar estudios relevantes. De todas formas, los estudios de

atribución y proyección permiten arribar a conclusiones muy contundentes y si el equipo técnico cuenta con los medios necesarios puede generar un aporte significativo de gran impacto no necesariamente operativo, pero sí estructural para fundamentar la necesidad de prevención.

6. UTILIDAD DEL CLIMATE TOOLKIT REGIONAL A LA LUZ DE ESTA COMPARACIÓN

En paralelo al desarrollo de los dos procesos de evidencia analizados previamente, Fundación Avina se propuso desarrollar un Climate Toolkit, con el objetivo de apoyar a profesionales de distintos sectores en el desarrollo de conocimiento climático situado de manera tal que los estudios sean tanto robustos científicamente como útiles para la toma de decisiones relacionadas a la adaptación al cambio climático. A partir de la comparación de los dos procesos de evidencia analizados en este informe, se formulan algunas observaciones con relación al Climate Toolkit desarrollado por Fundación Avina en colaboración con un conjunto de investigadores entre los que se incluye la autora de este informe. Una observación importante es que los talleres probaron ser fundamentales para entender y comunicar la utilidad del tipo de evidencia generada.

El Climate Toolkit busca informar a todos los actores de forma tal que el intercambio entre distintos sistemas de conocimiento sea fructífero. Asimismo, en la lectura de los dos informes se puede concluir que la comunicación de los resultados es sumamente compleja cuando las metodologías consideran distintas temporalidades, fenómenos de gran escala y procesos a nivel local, modelado climático, escenarios de emisiones y combinación de sistemas de conocimiento distinto. El Climate Toolkit permite generar un lenguaje común entre investigadores, actores locales y actores del ecosistema del financiamiento climático. En particular se buscó introducir conceptos útiles para la construcción de información a partir de los estudios “duros” en el formato de “*storylines*” y “modelos causales”.

En general se recomienda a un equipo que genere nuevos procesos de evidencia, en primer lugar, tenga en claro que la selección de la metodología debe ser adecuada a las capacidades técnicas y los recursos del equipo (Sección 2) y al proceso de toma de decisiones (Sección 3) en el cual se usará la información generada. En este sentido el Climate Toolkit presenta herramientas que permiten a cada equipo de trabajo ubicar su metodología en el espacio de metodologías posibles, justificando la elección.

- Herramientas brindadas en el Climate Toolkit para la selección de variables climáticas:
    - Se presentan herramientas para la determinación de variables relevantes para la toma de decisión, también llamadas climate impact-drivers (CIDs). Esto incluye herramientas para elegir estas variables climáticas relevantes basadas en literatura pero también conversación con actores clave.

- Herramientas brindadas en el Climate Toolkit para el análisis de tendencias:
    - Nivel básico: atribución de eventos extremos o cambios en CIDs a cambios en el clima mediante análisis de tendencias o quiebres en series temporales (sin la atribución a cambio climático antropogénico). Para quien no ha realizado muchos estudios, permite hacer un análisis simple, para quien no conoce del tema permite entender el contexto y para quien es experto, permite tomar las explicaciones en términos sencillos y mejorar la comunicación.
    - Nivel avanzado: No se introducen herramientas para la evaluación, ya que quienes realicen este tipo de trabajos ya tendrán suficiente experiencia y para quien no conoce del tema es demasiado técnico.

- Herramientas brindadas en el Climate Toolkit para análisis de atribución a cambio climático antropogénico:
    - Nivel intermedio: atribución estadística de eventos extremos en CIDs a cambios en el cambio climático antropogénico (como en el análisis del *World Weather Attribution*).
    - Nivel avanzado: de ser disponible, realizar estudio de atribución completa con escenarios contrafactuales y proyecciones climáticas utilizando modelos de impacto (como ConFLAME).

- Herramientas brindadas en el Climate Toolkit para análisis de proyecciones:
    - Nivel básico / avanzado:
    - Nivel intermedio: proyecciones climáticas de cambios en CIDs utilizando bases de datos online (Copernicus Atlas)
    - Nivel avanzado: proyecciones climáticas de impactos utilizando en forma combinada simulaciones climáticas y modelos de impacto mediante el uso de storylines.

Tabla 3. Tipo de estudios posibles con su nivel de complejidad (colores).

Tipo de estudio	Clima Pasado/Observado	Proyecciones del clima futuro	Atribución al cambio climático observado
Estudios de cambios en los CIDs	Nivel Básico	Nivel Intermedio	Nivel Intermedio
Modelo de impacto (i.e. ConFLAME)	Nivel Avanzado	Nivel Avanzado	Nivel muy Avanzado

7. CONCLUSIONES

El análisis comparativo de los procesos de evidencia climática realizados en la Amazonía–Pantanal (Brasil) y el Bosque Andino Patagónico (Argentina) permite informar futuros procesos de generación y uso de evidencia climática para la gestión del riesgo de incendios. Algunos de los aprendizajes pueden aplicarse en forma más general a la incidencia de la evidencia climática en políticas públicas relacionadas a la adaptación al cambio climático y las pérdidas y daños generados por sus impactos.

En primer lugar, se evidencia que la selección metodológica no puede realizarse de manera estandarizada, sino que debe responder a las condiciones específicas de cada contexto. Factores como la disponibilidad de datos, las capacidades técnicas del equipo contratado, el tiempo disponible y, fundamentalmente, los objetivos de uso y/o incidencia determinan qué tipo de enfoque es viable y pertinente. En este sentido, no existe una única metodología apropiada, sino múltiples aproximaciones posibles cuya utilidad depende de su adecuación al problema y al entorno institucional.

Si bien los estudios de atribución climática —como el desarrollado en Amazonía–Pantanal— ofrecen un alto nivel de robustez científica y permiten responder preguntas causales clave (por ejemplo, cuánto de un evento extremo puede atribuirse al cambio climático antropogénico o cómo evolucionará su probabilidad en distintos escenarios), su implementación implica costos y requerimientos técnicos elevados. Estos procesos demandan capacidades especializadas, acceso a infraestructura computacional avanzada y tiempos de desarrollo que no siempre son compatibles con las necesidades de gestión. En consecuencia, su utilidad se

concentra principalmente en la fundamentación de mecanismos de financiamiento climático o debates internacionales vinculados a pérdidas y daños.

En contraste, el estudio realizado en Patagonia, centrado en identificar cambios recientes en variables meteorológicas asociadas al peligro de incendios, muestra que enfoques metodológicamente más accesibles pueden generar evidencia altamente relevante para la toma de decisiones operativas. El análisis de tendencias en variables climáticas o en indicadores como el Fire Weather Index permite responder preguntas directamente vinculadas a la gestión —por ejemplo, cómo han cambiado las condiciones de peligro— con costos significativamente más bajos y barreras técnicas reducidas. Este tipo de evidencia resulta particularmente útil para informar decisiones concretas, como la extensión de temporadas operativas, la asignación de recursos o la planificación territorial y facilita su apropiación por parte de actores locales. En este sentido, se consolida la noción de una "mínima evidencia climática viable", entendida como aquella capaz de generar impactos institucionales significativos sin requerir altos niveles de sofisticación técnica.

En este marco, se observa que un incremento en la complejidad metodológica no garantiza necesariamente una mayor incidencia. Por el contrario, en algunos casos puede dificultar la comprensión, reducir la confianza en los resultados (en actores no técnicos) y limitar su uso en contextos operativos. Esto resalta la importancia de equilibrar la robustez científica con claridad, accesibilidad y capacidad de traducción a lenguajes y formatos relevantes para la gestión.

Otro hallazgo transversal es el rol central de los procesos participativos y de co-construcción con actores territoriales. En ambos estudios, la interacción con brigadistas, comunidades locales, autoridades y otros actores no solo enriqueció el análisis técnico, sino que también permitió ajustar las metodologías a necesidades concretas, aumentar la legitimidad de los resultados y potenciar su uso en la práctica. La integración de conocimiento científico y conocimiento local mostró ser en los dos casos clave para la producción de evidencia climática relevante.

En este sentido, los resultados refuerzan que las distintas metodologías no compiten entre sí, sino que producen evidencia complementaria, alineada con diferentes tipos de decisiones. Por ello, antes de iniciar un proceso de generación de evidencia climática resulta fundamental definir con claridad el objetivo del estudio —qué preguntas se busca responder y para qué se utilizarán los resultados—, así como evaluar los costos, requerimientos técnicos y capacidades disponibles. En conjunto, estas conclusiones refuerzan la idea de que la efectividad de la evidencia climática no depende únicamente de su sofisticación técnica, sino de su capacidad de responder a preguntas relevantes, integrarse en contextos de decisión concretos y ser apropiada por los actores que gestionan el riesgo en el territorio.

Finalmente, los resultados de este informe subrayan la utilidad del desarrollo de un toolkit para la generación de evidencia climática que contemple distintos abordajes metodológicos con distintos niveles de complejidad. Este toolkit debería permitir a los equipos: seleccionar, adaptar e implementar enfoques de acuerdo con sus capacidades y objetivos, incluyendo desde análisis básicos de tendencias hasta estudios avanzados de atribución y modelización de impactos. Asimismo, debería priorizar la claridad conceptual, la accesibilidad y la aplicabilidad práctica, facilitando la traducción de la evidencia climática en herramientas útiles para la toma de decisiones.

8. REFERENCIAS ADICIONALES

Boyd, E., James, R. A., Jones, R. G., Young, H. R., & Otto, F. E. L. (2017). A typology of loss and damage perspectives. *Nature Climate Change*, *7*(10), 723–729. https://doi.org/10.1038/nclimate3389

Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc). (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1st ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

Parker, H. R., Boyd, E., Cornforth, R. J., James, R., Otto, F. E. L., & Allen, M. R. (2017). Stakeholder perceptions of event attribution in the loss and damage debate. *Climate Policy*, *17*(4), 533–550. https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1124750

9. GLOSARIO

Antropogénico: Provocado por actividades humanas y no por procesos naturales. En la ciencia del clima, las influencias antropogénicas suelen referirse a las emisiones de gases de efecto invernadero, los cambios en el uso del suelo y otras acciones humanas que influyen en el clima. *Fuente: parafraseado del IPCC AR6, GTP1, Anexo VII, Glosario (2021), utilizado en los tres informes de los Grupos de Trabajo del IPCC AR6.*

Cambio climático (antropogénico): El cambio climático se define como un cambio en el sistema climático que persiste durante un período prolongado, normalmente décadas o más. Puede tratarse de un cambio en la temperatura media, las precipitaciones u otro factor que influye en el clima, o de un cambio en la variabilidad o los extremos de estas variables. El cambio climático puede producirse por diversas razones: cambios en el ciclo solar, erupciones volcánicas, actividades humanas o variabilidad interna del sistema climático. El cambio climático antropogénico se define como «un cambio del clima que se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana [...] y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables» (citado del artículo 1 de la CMNUCC, definido allí simplemente como cambio climático). Siempre es importante distinguir si se está referenciando al cambio climático, que puede detectarse simplemente a partir de observaciones, o de cambio climático antropogénico, que requiere atribuir este cambio. *Fuente: parafraseado del IPCC AR6, Grupo de trabajo1 Anexo VII Glosario (2021).*

Atribución: En términos sencillos, la atribución trata de comprender la cuestión de *por qué* está cambiando el clima. De manera más formal, la atribución es el proceso de evaluar las contribuciones de diferentes factores causales a un cambio observado en una variable climática o en un factor determinante del impacto climático (atribución de tendencias) o a la ocurrencia de un único evento climático extremo (atribución de eventos extremos). Los posibles factores a los que se pueden atribuir las tendencias o los eventos incluyen actividades humanas como el cambio en el uso del suelo, las emisiones de gases de efecto invernadero u otras emisiones, pero también factores naturales como las erupciones volcánicas o la variabilidad interna del sistema climático. La atribución de tendencias se ha utilizado, por ejemplo, para comprender las causas del aumento de la temperatura superficial global en las últimas décadas —la base de la acción climática global—, mientras que la atribución de eventos extremos se ha utilizado, por ejemplo, para investigar si los eventos extremos individuales habrían tenido un desarrollo diferente si hubieran ocurrido en un clima distinto —digamos, 100 años en el futuro o en el pasado—. Puede encontrar más detalles sobre la atribución en la sección 4 de este módulo, así como en el recuadro 1.1 del Grupo de

Trabajo Interdisciplinario del IPCC AR6. *Fuente: Parafraseado del Resumen Técnico del IPCC AR6 GT1.*

Evidencia climática: En este conjunto de herramientas, la evidencia climática se define como toda la información utilizada para comprender los impactos del cambio climático: los datos y la información recopilados en cada uno de los módulos contribuyen a esta evidencia. En el IPCC, la evidencia climática se define como los datos y la información utilizados en el proceso científico para establecer conclusiones sobre el sistema climático. *Fuente: IPCC AR6, WG1 Anexo VII Glosario (2021).*

Climate Impact-Drivers (CID): Condiciones climáticas físicas que afectan a la sociedad y a los ecosistemas. Entre ellas se incluyen las olas de calor, las sequías, las lluvias torrenciales, el aumento del nivel del mar y los vientos fuertes. *Fuente: IPCC AR6 Grupo de Trabajo I, Capítulo 12 (2021).*

Proyecciones climáticas: son estimaciones científicas de cómo podría evolucionar el clima de la Tierra en el futuro, elaboradas con modelos climáticos globales (Figura 1) desarrollados en instituciones de investigación públicas de todo el mundo. Estos modelos son representaciones numéricas complejas de los procesos físicos de la atmósfera, el océano, la tierra y el hielo que pueden utilizarse para simular la evolución del clima a lo largo del tiempo. Para proyectar el clima futuro a partir de las emisiones antropogénicas, necesitaríamos saber cómo será el sistema socioeconómico del futuro. Como no lo sabemos, los científicos especulan con diferentes escenarios de emisión posibles y exploran la respuesta climática en cada futuro posible. Esto requiere una enorme potencia computacional, y por eso hay un número limitado de instituciones capaces de producir las simulaciones. *Fuente: IPCC AR4 Grupo de Trabajo I, Capítulo 10 (2007); que sirve como base para AR5 y AR6.*

Variabilidad climática: Variabilidad del clima observado a todas las escalas espaciales y temporales más allá de la de los fenómenos meteorológicos individuales. Esta variabilidad puede ser interna al sistema climático, impulsada, por ejemplo, por factores climáticos a gran escala como la Oscilación del Sur El Niño, presentada en el módulo 6, en cuyo caso se denomina variabilidad interna. *Fuente: parafraseado del IPCC AR6, Grupo de Trabajo I, Anexo VII, Glosario (2021).*

Escenarios de emisiones: describen posibles decisiones socioeconómicas que podrían determinar las emisiones de gases de efecto invernadero en el próximo siglo, basadas en diferentes opciones sobre desarrollo, uso de la energía y uso del suelo. En las últimas evaluaciones del IPCC, estos futuros están representados por las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP), que combinan guiones simples (como la sostenibilidad o el crecimiento impulsado por los combustibles fósiles) con niveles de emisiones antropogénicas que dan lugar a diferentes forzamientos climáticos (cuánta radiación adicional absorbe la atmósfera); su objetivo es ilustrar una gama de resultados plausibles y sus implicaciones climáticas, no predecir exactamente lo que sucederá. (*IPCC AR6, Grupo de trabajo I Anexo VII Glosario (2021))*

Cambio ambiental: Cambios en el entorno natural, incluyendo el cambio climático, la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y los cambios en los sistemas hídricos. Estos cambios pueden ser resultado de procesos naturales, de actividades humanas o de ambos.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático): Órgano de las Naciones Unidas responsable de evaluar la evidencia científica sobre el cambio climático. Establecido en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el IPCC no lleva a cabo investigaciones originales, sino que revisa y sintetiza miles de publicaciones científicas

revisadas por pares. Elabora Informes de Evaluación (el más reciente es el Sexto Informe de Evaluación, AR6, finalizado en 2023) e Informes Especiales, redactados por científicos expertos de todo el mundo y sometidos a una rigurosa revisión por parte de gobiernos y expertos. Sus evaluaciones sirven de base para las negociaciones internacionales sobre el clima en el marco de la CMNUCC. *Fuente: sitio web oficial del IPCC www.ipcc.ch.*

Medidas de preparación: Acciones adoptadas con antelación para reducir los daños derivados de eventos futuros previstos, incluidos los fenómenos meteorológicos extremos y los impactos del cambio climático a largo plazo. El glosario del IPCC AR6 WGII define la preparación ante desastres más específicamente como «procesos sociales para diseñar, implementar y evaluar estrategias, políticas y medidas que promuevan y mejoren las prácticas de preparación, respuesta y recuperación ante desastres en diferentes niveles organizativos y sociales». En términos más generales, las acciones de preparación pueden desarrollar la capacidad de la comunidad, los sistemas de alerta temprana, la resiliencia de las infraestructuras y la preparación institucional antes de que se produzca un peligro, en lugar de limitarse a responder una vez que este se ha producido. *Fuentes: Grupo de Trabajo II del IPCC AR6 (definición de preparación ante desastres); UNDRR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres) Marco de Sendai.*

Modelo cuantitativo: Representación matemática de los procesos del mundo que utiliza números y ecuaciones para simular cómo se comporta el sistema en diferentes condiciones.
Datos de reanálisis: Datos climáticos creados mediante la combinación de observaciones con modelos meteorológicos para producir un registro coherente de las condiciones climáticas pasadas. *Fuente: ECMWF. https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2023/fact-sheet-reanalysis*

Reproducibilidad: La capacidad de otros investigadores para repetir un estudio utilizando los mismos métodos y datos y obtener resultados idénticos o muy similares. *Fuente: Parafraseado de las Academias Nacionales de Ciencias (2019).*

Fatiga de investigación: Situación en la que las comunidades se cansan de participar en proyectos de investigación repetidos, especialmente cuando ven pocos beneficios o resultados significativos.

Cambio termodinámico: Cambios en el sistema climático impulsados principalmente por variaciones en el contenido de calor y humedad —por ejemplo, el aumento de episodios de lluvias extremas a medida que una atmósfera más cálida retiene y libera más vapor de agua, la intensificación de la sequía debido al aumento de la evaporación o el calentamiento de las temperaturas de la superficie del océano. Los cambios termodinámicos se distinguen de los cambios dinámicos (véase más arriba), que surgen de cambios en los patrones de circulación. En la práctica, la mayoría de los cambios climáticos regionales observados implican una combinación de procesos tanto termodinámicos como dinámicos. *Fuente: Shepherd (2014), utilizado en el capítulo 4 del GTP 1 del IPCC.*

Escalas temporales y espaciales: Los periodos de tiempo y las extensiones geográficas en los que se observan, modelizan o perciben los procesos y los impactos climáticos. Las escalas espaciales van desde lo local (una cuenca hidrográfica, una pequeña comunidad o una explotación agrícola) hasta lo regional (véanse las regiones del IPCC) y lo global. Las escalas temporales van desde horas (lluvias intensas) y días hasta décadas (variabilidad climática) y siglos (cambio climático a largo plazo).
Detección de tendencias: La detección de cambios consiste en demostrar que un factor determinante del impacto climático ha cambiado de un período a otro en algún sentido estadístico, sin proporcionar una razón para ese cambio. *Fuente: parafraseado del IPCC AR6, GTP1, Anexo VII, Glosario (2021).*

BASE.

Iniciativas alineadas

www.baseinitiative.net