



Estudio y mapeo de eventos naturales extremos en la Región de Aysén y la Reserva de Biosfera Laguna San Rafael el Guayaneco registrados en artículos científicos publicados entre los años 1990 a 2022

Estudio en el marco del PROYECTO

“Estudio de la Resiliencia, sustentabilidad y valorización de la Reserva de la Biósfera LSR-G, Aysén”

Fondo de Innovación para la Competitividad, código BIP 40049360-0, región de Aysén 2024.

Ejecución: etapa 1 : 2022, etapa 2 Julio 2023 – febrero 2025

Autores y contribuidores : Fabien Bourlon (1), Alexandra Salazar (1), Francisca Flores (2), Nicolas Robinet (3), Pascal Mao (3), Valentina Álvarez (1) y Romain Lethuaire (4).

¹ Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP), José de Moraleda 16, Coyhaique 5951601, Chile.

² Universität Heidelberg, Heidelberg, Alemania.

³ Université Grenoble Alpes, CNRS, Institut d'Urbanisme et de Géographie Alpine, Pacte, 38000 Grenoble, France.

⁴ Université de Reims Champagne-Ardenne, UFR Lettres et Sciences Humaines, Reims, Francia.

El Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) lleva desde 2020 en ejecución el proyecto ANID Centro Regional PATSER (R20F0002) y luego se adjudicó un proyecto a través de un Fondo de Innovación para la competitividad en 2022 el Gobierno Regional de Aysén que involucran estudios territoriales socio-ecológico de largo plazo. El proyecto "Estudio de la resiliencia, sustentabilidad y valorización de la Reserva de la Biósfera LSR-G", busca potenciar acciones innovadoras en torno a la gobernanza territorial, la gestión ambiental y el bienestar social sustentable en el suroeste de la Región de Aysén. En ambos proyectos se busca estudiar situaciones e identificar desafíos en el contexto del cambio climático para apoyar estrategias locales que favorezcan la resiliencia, el mejor conocimiento del territorio y para apoyar la conservación, valorización del patrimonio cultural y natural y las actividades productivas sustentables.

El presente estudio sobre los eventos extremos se enmarca en el objetivo específico 1 del Proyecto FIC: “Actualizar la línea base de la Reserva de la Biósfera LSR-G” y definir requerimientos para de actualizarla en particular en el ámbito de los efectos del cambio climático (CC) sobre el patrimonio para fortalecer la resiliencia de las comunidades que lo habitan. La actividad busca localizar eventos extremos y/o catastróficos ocurridos en el territorio que hayan podido cambiar las realidades territoriales descritas en 2018. Este documento responde al producto comprometido 1.3. “Informe y mapeo eventos catastróficos identificados y percepciones”. También participa del Objetivo 1 del proyecto PASTER, “Evaluar críticamente las respuestas adaptativas al cambio climático y ambiental en los archipiélagos y el interior de la Patagonia centro-occidental” para responder a la pregunta de investigación OBJ1-Q2: ¿Cómo nos informan las estrategias de adaptación empleadas en el pasado por los habitantes de las comunidades aisladas de Aysén sobre sus posibles respuestas de adaptación al Cambio Climático?

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	2
1. Objetivos del estudio.....	5
METODOLOGÍA.....	7
1. Área de estudio.....	7
2. Estrategia de búsqueda.....	8
3. Selección de estudios.....	9
4. Categorización de publicaciones y clasificación de eventos catastróficos.....	10
RESULTADOS.....	13
1. Antecedentes.....	13
2. Gráficos.....	13
Figura 4. Número de artículos científicos que mencionan un evento extremo por año en la región de Aysén (una misma publicación puede mencionar eventos ocurridos en años diferentes). Fuente: elaboración propia, 2024.....	14
3. Mapas de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas.....	21
DISCUSIÓN.....	31
1. Relevancia del estudio para la toma de decisiones.....	31
2. Perspectivas y recomendaciones.....	34
CONCLUSIÓN.....	36
BIBLIOGRAFÍA.....	40
ANEXOS.....	45
Anexo 1. Base de datos.....	45
Anexo 2. Listado de 63 publicaciones revisadas sobre eventos extremos en la región de Aysén.....	45
CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES AL ESTUDIO.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Diagrama del riesgo de desastre en el contexto del cambio climático.....	4
Figura 2. Localización general de la Región de Aysén y de la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y El Guayaneco.....	8
Figura 3. Esquema de la cadena de búsqueda de artículos científicos.....	10
Tabla 1. Clasificación de eventos extremos.....	12
Figura 4. Número de artículos científicos publicados por año en la región de Aysén desde 2000 a 2022.....	14
Figura 5. Registro de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén.....	15
Figura 6. Registro de eventos extremos en publicaciones científicas.....	16
Figura 7. Proporción de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén, por tipo de evento extremo.....	17
Figura 8. Registros de impactos de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén, por tipo de evento extremo.....	18
Figura 9. Proporción de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén, por sub-tipo de evento.....	19
Figura 10. Mapa de 377 menciones eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en Aysén.....	21
Figura 11. Mapa de 377 menciones eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en Aysén.....	23
Figura 12. Mapa dinámico (QR) de 377 menciones eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en Aysén.....	24
Figura 13. Mapa de eventos individualizados en publicaciones científicas seleccionadas en la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y el Guayaneco.....	25
Figura 14. Mapa de concentración de menciones de eventos extremos en la RB Laguna San Rafael y el Guayaneco, en ubicaciones científicas seleccionadas en Aysén.....	27
Figura 15. Mapa dinámico (QR) de ocurrencia anual de menciones de eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y el Guayaneco.....	28
Figura 16. Mapa de trazados de Google POI, Huellas Digitales y sitios de eventos extremos.....	31

INTRODUCCIÓN

La Patagonia chilena se distingue por su impresionante entorno natural y su extraordinaria belleza escénica. En el sur de la Región de Aysén, se observa un incipiente desarrollo productivo en áreas como la agricultura, la silvicultura, la pesca, la acuicultura y el turismo. Este último está vinculado principalmente al recorrido por la Carretera Austral y las visitas a destinos emblemáticos como las Capillas de Mármol, el Parque Nacional Laguna San Rafael, el Glaciar Exploradores, y en menor medida, al Parque Nacional Patagonia y a la Caleta Tortel. En este contexto, la presencia de la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y El Guayaneco, reconocida mundialmente por la UNESCO en 2019 por su alta calidad socio ambiental, ofrece una oportunidad para promover un desarrollo inclusivo y armónico en un espacio natural y cultural de gran valor. Sin embargo este territorio se ve afectado y su patrimonio y las diversas actividades del territorio amenazados por eventos de origen natural exacerbados por el cambio climático. El aumento en la frecuencia de “eventos extremos” y cambios en las actividades humanas, como el incremento del turismo, la intensificación de la agricultura o el crecimiento de la industria acuícola, genera un escenario complejo y menos predecible que las autoridades, los empresarios y las organizaciones sociales deben enfrentar.

Según el IPCC (2012, ver figura 1) el **riesgo de desastre** se compone de tres variables: (1) la vulnerabilidad, (2) la exposición y (3) los eventos meteorológicos y climáticos. La interacción entre estos tres factores impacta el **desarrollo regional** y hoy se ha hecho clave evaluar riesgos, estrategias de adaptación o mitigación para reducir los efectos negativos de la crisis climática.

Los eventos climáticos y meteorológicos resultan de variabilidades naturales pero son alteradas y exacerbadas por el cambio climático y las acciones antrópicas. Los eventos son la base que puede generar riesgo de desastres, aunque este ocurre en la intersección entre los tres factores mencionados anteriormente. El desarrollo se ve afectado por las opciones en la gestión del riesgo de desastre y las medidas que se toman para reducirlo. La adaptación al cambio climático es posible en la medida que se identifique acciones posibles para mitigar sus impactos. Además, es importante considerar, como se muestra en el diagrama, que se trata de un ciclo, donde: los desastres afectan al desarrollo (flecha superior), generando vulnerabilidad adicional, y, a su vez, el desarrollo y las actividades humanas aumentan los gases de efecto invernadero (GGE) que retroalimentan el cambio climático (flecha inferior). La falta de preparación y resiliencia de la sociedad frente a estos fenómenos incrementan su vulnerabilidad. Frente a un evento extremo y una comunidad no preparada, las consecuencias son devastadoras o “catastróficas”. Un “evento extremo” se transforma en un “evento catastrófico” cuando los actores clave de un territorio no están previamente informados y no adoptan medidas de adaptación y mitigación.

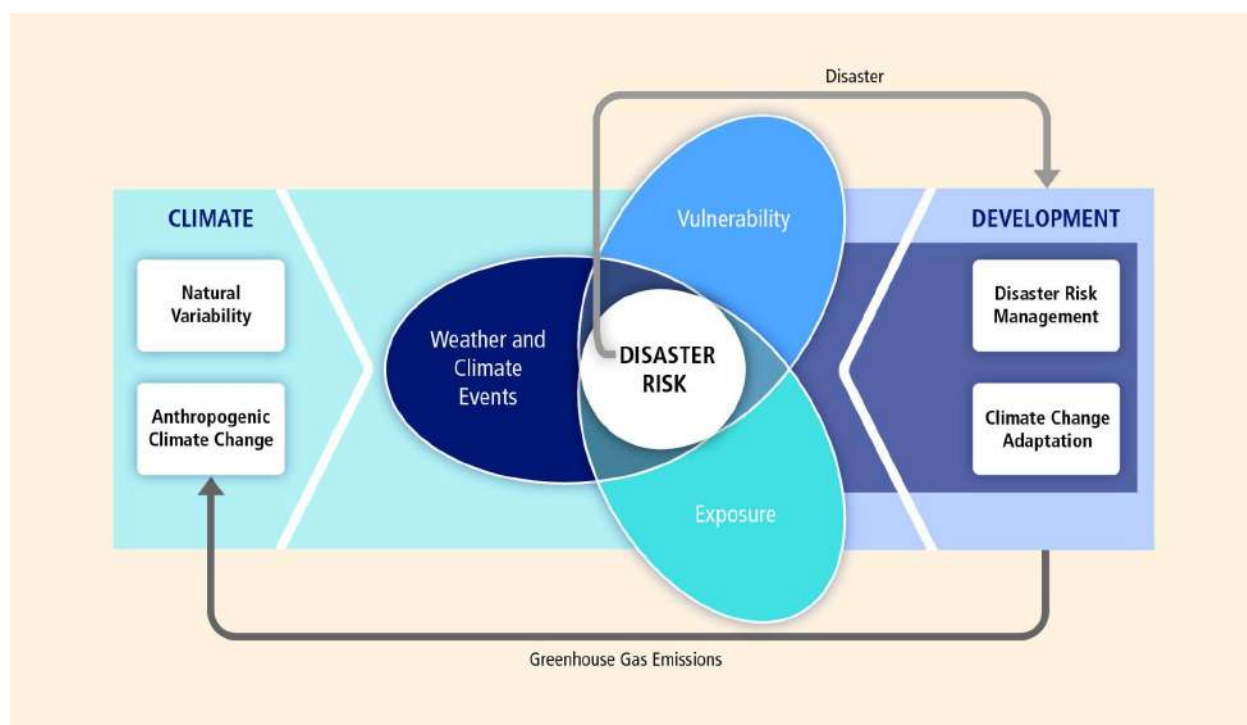


Figura 1. Diagrama del riesgo de desastre en el contexto del cambio climático. Fuente: IPCC, 2012.

Below et al. (2009), describen “eventos extremos” que pueden ser clasificados en seis grandes categorías: (1) geofísicos, (2) meteorológicos, (3) hidrológicos, (4) climatológicos, (5) biológicos y (6) extraterrestres. Vemos que además de los factores climatológicos y meteorológicos, foco del IPCC (2012), es recomendable ampliar el estudio a otros fenómenos, geofísicos, hidrológicos, biológicos y eventualmente de origen extraterrestre ya que todos ellos afectan, ponen en riesgo a la comunidad o se incrementa los efectos en un contexto de la crisis climática. Por otro lado, Glade y Alexandre (2013), describen los “eventos catastróficos naturales” como fenómenos extremos que generan importantes repercusiones en la vida y los medios de subsistencia de las personas. La importancia por ende de contar con políticas públicas y leyes que regulen el actuar de los organismos público y/o privados frente a estas situaciones de amenazas, es de extrema importancia para el bienestar y proteger la vida de las personas. No obstante el foco puesto en los eventos climatológicos y meteorológicos del IPCC, el presente estudio ha optado por utilizar la clasificación más amplia de Below & al (2009) y considerar todos los eventos que pueden conducir a desastres, en particular cuando interactúan con los otros dos factores (vulnerabilidad y exposición).

En Chile, la **Ley 21.455** (Ley 21.455 de 2022), conocida como la "Ley Marco de Cambio Climático", y la **Ley 21.364** (Ley 21.364 de 2021), referida a la "Ley de Gestión de Riesgo de Desastres", están interrelacionadas en el marco de la sostenibilidad y la prevención de desastres naturales, ya que ambas buscan enfrentar de manera integral los efectos del cambio climático y los riesgos asociados a desastres.

La Ley 21.455, promulgada en 2022, establece un marco normativo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, promover la adaptación al cambio climático y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades. En este sentido, prevé la implementación de políticas y estrategias de adaptación y mitigación frente a las amenazas del cambio climático, abordando desafíos que incluyen la escasez hídrica, los incendios forestales y el aumento de eventos climáticos extremos. Por otro lado, la Ley 21.364, que entró en vigor en 2021, tiene un enfoque específico en la gestión del riesgo de desastres naturales, proporcionando herramientas legales para la coordinación y planificación ante emergencias, así como la protección de las comunidades frente a amenazas como terremotos, tsunamis, aluviones e incendios. Esta ley establece responsabilidades claras para las autoridades y los sectores privados, y fomenta la participación activa de la ciudadanía en la prevención y la respuesta ante desastres. Ambas leyes, en conjunto, tienen el propósito de fortalecer la capacidad del país para hacer frente a los riesgos asociados al cambio climático y los desastres naturales. **El cambio climático y la gestión de desastres, están fuertemente interrelacionadas** por el contexto actual de crisis climática, que está aumentando la frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos.

El catastro de “eventos extremos” que se presenta en el presente estudio se basa en la identificación de artículos científicos que informan de manifestaciones inusuales de fenómenos naturales, sin que estos sean necesariamente “eventos catastróficos naturales”, que implica un impacto devastador en la sociedad con destrucción masiva y graves consecuencias para la población y el medio ambiente. Este estudio no evalúa la gravedad de los eventos extremos sobre los seres humanos y el entorno, sino que busca evidenciar los registros documentados en la literatura científica sobre estos eventos de origen natural.

El presente trabajo, enfocado en el análisis geoespacial de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas, proporciona una herramienta de fácil implementación para identificar de manera preliminar los sectores de un territorio más afectados por “eventos extremos”. En particular, ha sido interés del proyecto que esto contribuye a actualizar la línea base de la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y El Guayaneco, tal como se describe en el expediente de 2018. Se espera que este aporte sea un apoyo para la toma de decisiones en la planificación territorial recomendado a nivel nacional (Rivera Mateos & Félix Mendoza 2019) y el fortalecimiento de la resiliencia del sistema socioecológico en la región de Aysén y, en particular, en la Reserva de Biosfera. Conocer la localización y frecuencia de los eventos extremos descritos en la literatura científica regional es un primer paso para poder mitigar sus efectos y prevenir que se conviertan en desastres o eventos catastróficos (IPCC, 2012; Camus *et al.*, 2016; Sandoval-Díaz *et al.*, 2023). Es relevante indicar que no se han considerado los informes técnicos existentes en los diferentes servicios del Estado (Servicio Geológico y Minero, Dirección de Agua, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno Regional de Aysén, etc.) por ser un trabajo complejo de realizar y que requiere de articulación interministerial. Es

probable que la data deba ser sistematizada y unificada en su presentación para poder representar espacialmente los eventos extremos. Es una tarea pendiente que las autoridades regionales están abordando en el marco del trabajo que realiza el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED).

Este estudio no informa del nivel de riesgo asociado a cada evento. Dicho trabajo requerirá de una evaluación de la infraestructura, las viviendas, habitantes y flujos de pasajeros en los caminos. A modo indicativo se informa en el último capítulo del presente informe de un trabajo exploratorio, la “evaluación de huellas digitales”, que permite informar de la presencia e interés en sitios específicos por parte de visitantes y por ende identificar sitios de mayor exposición y riesgos. A su vez, este trabajo podrá contribuir en definir posibles estrategias de reducción de riesgos y de adaptación.

1. Objetivos del estudio

1. Obtener una base de datos sobre eventos extremos registrados en publicaciones científicas de 1990 a 2022 en la Región de Aysén.
2. Entregar un análisis estadístico preliminar de eventos extremos ocurridos a partir de 1970 en la región de Aysén informados en publicaciones científicas a partir de 1990.
3. Mapear lugares de ocurrencia de eventos extremos informados en publicaciones científicas
4. Iniciar una discusión con el posible impacto de eventos extremos sobre los visitantes de la reserva de biosfera en lugares específicos cruzando datos con registros de visitantes y las huellas digitales disponibles en aplicaciones para viajeros.

METODOLOGÍA

La investigación empleó una metodología de revisión de literatura estructurada o sistematizada, de acuerdo con Grant y Booth (2009), Huelin et al. (2015), Ghulam y Robinson (2006), Shashi et al. (2018), y otros, modificados con la adición del análisis geográfico, que representa un aspecto novedoso de este estudio. Las revisiones bibliográficas sistemáticas están diseñadas para abordar situaciones específicas a través de un proceso estructurado (Huelin et al., 2015; Shashi et al., 2018) que está definido de antemano y enmarcado por criterios absolutos de inclusión y exclusión. Los métodos estructurados (o sistematizados) de revisión de la literatura son apropiados para situaciones que requieren rigor científico; pero no requieren del exhaustivo proceso de recopilación de todas las obras existentes. El proceso de revisión tiene un alcance más manejable para producir resultados en el corto plazo.

1. Área de estudio

La Región de Aysén, en Chile, se ubica entre las coordenadas 45°34'12"S y 72°03'58"O (ver figura 2). Posee una fisionomía agrietada, producto de los procesos tectónicos y glaciares predominantes en el territorio. La presencia de los Campos de hielo Norte y Sur Patagónicos han permitido la formación de valles, fiordos y canales donde se evidencia una gran variedad de ecosistemas lo cual ha permitido el asentamiento humano. Dentro de la Región, se localiza la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y el Guayaneco (45°47'26"S - 48° 12' 48"S; 72°21' 28"O - 75° 47'38"O). Su área geográfica abarca 51.304 km², e involucra cinco comunas de la Región, que de norte a sur son: Aysén, Río Ibáñez, Chile Chico, Cochrane y Tortel, que a su vez, forman parte de tres provincias: Aysén, General Carrera y Capitán Prat.

De acuerdo con los estándares de la UNESCO, las Reservas de Biosfera se dividen en cuanto a las actividades o prácticas que sus habitantes pueden desarrollar, ya sea de conservación, prácticas ecológicas o desarrollo productivo. Esta zonificación divide a la RB LSRG en tres zonas principales: 1. Zona núcleo, en la cual corresponde a una zona de conservación y protección legal a largo plazo. 2. Zona de amortiguación o tampón, donde se realizan actividades compatibles con prácticas ecológicas que pueden contribuir a la investigación y educación científica. Por último la 3. Zona de transición, es una zona de uso múltiple donde se permiten formas de explotación sostenible de los recursos, a cargo del trabajo en conjunto de actores públicos, privados y las comunidades.

Es relevante mencionar que los límites actuales de la Reserva LSRG, fueron aprobados recién en 2018 por la UNESCO, a través de un proceso de actualización de la situación en ese momento. Anterior a esta actualización, la Reserva de Biosfera Laguna San Rafael poseía una superficie aproximada de dos millones de hectáreas, y correspondía básicamente a la zona núcleo actual por tratarse de los límites del Parque Nacional Laguna San Rafael.



Figura 2. Localización general de la Región de Aysén y de la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y El Guayaneco. Fuente: elaboración propia, 2024.

2. Estrategia de búsqueda

Para este estudio se utilizó la base de datos de la Biblioteca de Mansfield (Mansfield library) de la Universidad de Montana mediante la plataforma OneSearch, la cual incluye una amplia gama de más de 450 bases de datos académicas electrónicas. La estrategia de búsqueda empleó una selección inicial de 3 topónimos geográficos, los cuales corresponden a nombres de los lugares de una determinada región geográfica y representan la forma en que los habitantes locales interpretan su entorno vital en el momento de la denominación (Qian, Kang et Weng, 2016). Estos fueron “Patagoni”, “Aysen” y “Argentin”. Los dos primeros topónimos corresponden a lugares presentes en el área de estudio. El tercer topónimo se utilizó para excluir de la búsqueda el territorio de la Patagonia Argentina. Palabras como “Patagonia” o “Aisen” no fueron utilizadas por su alcance en el idioma en el cual están escritos los documentos y que los filtros pudieran identificar más eficientemente.

Un requisito fue que los estudios hayan sido publicados entre 1990 y 2022. Luego se aplicó un filtro para identificar las publicaciones que se referían a eventos catastróficos que incluyeran algunas de las siguientes palabras y frases en inglés: Glop, Flood, Landslide, Earthquake, Lahar, Algae Bloom, Hurricane, Catastrophic, Meteorology, volcanic eruption, disaster. Estos se utilizaron para identificar investigaciones científicas publicadas que estuvieran asociadas a los topónimos y que tuvieran relación con algún evento catastrófico.

Los artículos científicos suelen incluir indicaciones sobre su área de estudio en sus secciones de título, resumen, palabras clave y/o métodos. Sin embargo, el motor de búsqueda hizo revisión sólo en los títulos y resúmenes de los artículos. Finalmente, la cadena final se estableció consensuadamente entre los miembros del equipo de investigación, quienes poseían conocimiento experto de la ciencia y geografía de la región, y se muestra a continuación.

Cadena de búsqueda final: (patagoni* OR aysen) AND (glop OR flood OR landslide OR earthquake OR lahar OR algae bloom OR hurricane OR catastrophic OR meteorology OR “volcanic eruption*” OR disaster) NOT Argentina*

3. Selección de estudios

La búsqueda de acuerdo con la cadena en OneSearch coincidió con 283 artículos. Posteriormente se hizo una revisión de los artículos duplicados en la que se identificaron 26 documentos. Después de la eliminación de artículos duplicados (26) se realizó una revisión del texto completo a los 257 artículos restantes. Los artículos excluidos durante esta fase fueron 2018 y se debió principalmente a tres razones de exclusión: 1) Incluía alguno de los topónimos pero la investigación estaba fuera de la región de Aysén, 2) no correspondían a artículos indexados (autores e instituciones científica o pública conocido), o 3) el artículo no corresponde al período de tiempo especificado (1990 - 2022), 4) no se especifica un evento específico, en un lugar precisado y una fecha determinada. A partir de esta exclusión, se identificaron 39 artículos donde se menciona al menos un evento catastrófico en un lugar y una fecha determinada, con énfasis en la sección de métodos, ya que la mayoría de los artículos incluyen una subsección que describe su área de estudio. Luego, la base de datos de 39 artículos fue revisada por 8 científicos locales de las áreas de las ciencias sociales, geografía, geofísica, oceanografía, hidrología, biología y ecología que trabajan en universidades regionales y centros de investigación, con la invitación de agregar recursos relevantes revisados por pares que cumplieran con los criterios de búsqueda, con respecto a topónimos y años de publicación. Estos recomendaron 24 documentos adicionales, los cuales fueron agregados a la base de datos. El resultado del proceso fue una base de datos con 63 publicaciones seleccionadas para su inclusión en el estudio. En la figura 3 se resume la metodología utilizada:

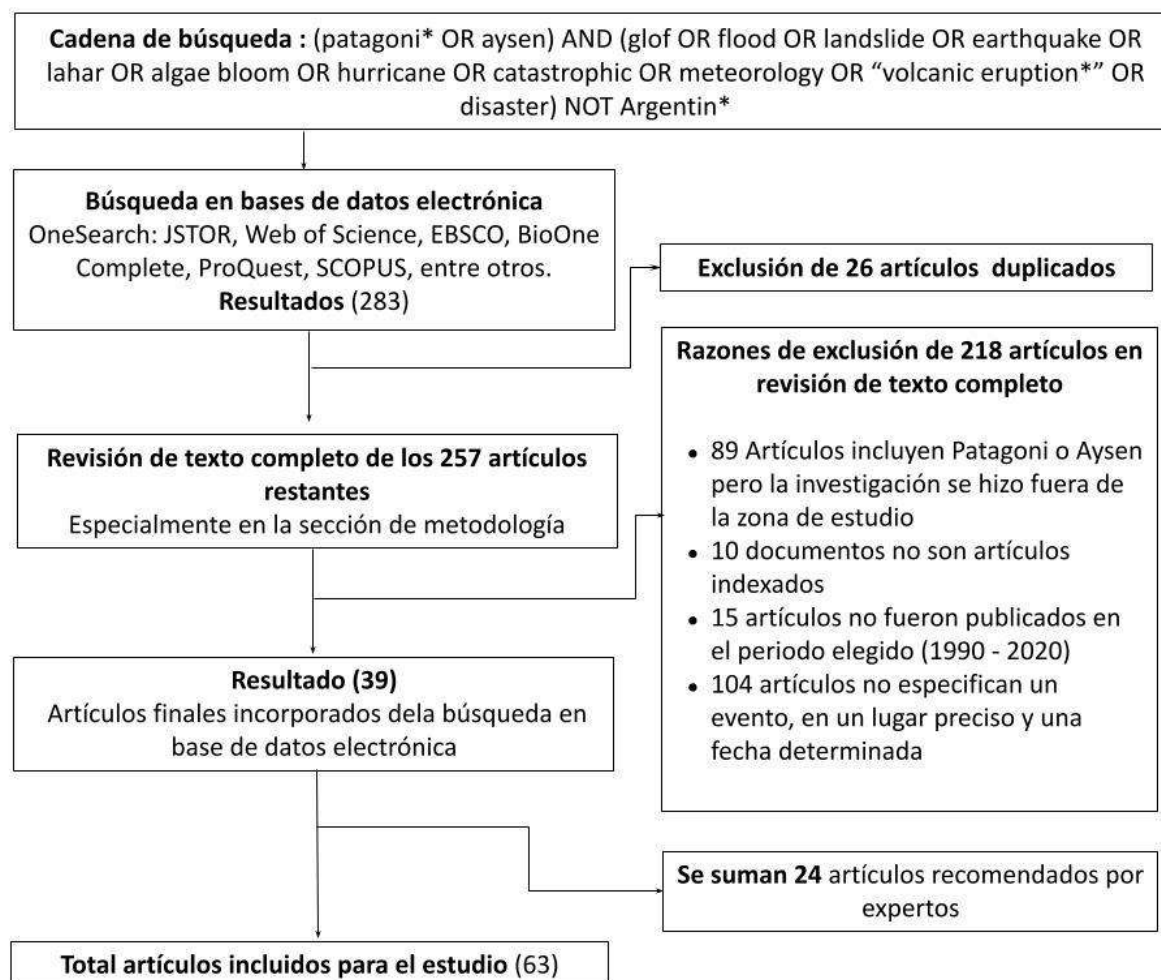


Figura 3. Esquema de la cadena de búsqueda de artículos científicos. Fuente: Elaboración propia.

4. Categorización de publicaciones y clasificación de eventos catastróficos

Cada uno de los 63 artículos seleccionados fueron revisados en su totalidad para identificar los eventos catastróficos mencionados, estudiados o referenciados en los trabajos. Se hizo énfasis en las secciones de área de estudio, materiales y métodos, mapas, tablas e imágenes que contenían la ubicación geográfica u otra indicación sobre el evento que muchas veces no estaba mencionado en el título del trabajo o el resumen.

Las publicaciones fueron categorizadas por un ID, la citación, el área de estudio específica, el topónimo predominante, coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator) Este y Sur, fechas de inicio y término del evento, tipo de evento y subtipo de evento. Para la asignación de topónimos, se agruparon eventos en zonas más amplias como por ejemplo las áreas específicas de Bahía Acantilada, Punta Cola e Isla Mentirosa, se agruparon en un solo topónimo denominado Fiordo Aysén. En algunos casos donde los eventos afectan a la región de Aysén pero se originan en una zona aledaña fuera de la región, se ha optado por una representación localizada al punto de partida en una zona con actividad humana (como es el caso de la erupción del volcán Chaitén o del deslizamiento del Cerro Santa Lucía ocurridos en la región de Los Lagos hacia la carretera austral en la entrada norte de Aysén). La ubicación geográfica de cada evento, en muchas ocasiones no estaba especificada, por lo cual, fue necesario unificar la coordenada de la ubicación y el nombre del sitio. Por ejemplo, todos aquellos eventos que hacían referencia a la explosión del volcán Hudson, fueron ubicados con las coordenadas del volcán Hudson (Este: "654599.95"; Norte: "4917092.22").

Luego, se realizó una clasificación de los eventos informados usando la nomenclatura propuesta por Below et al., 2009. *"Disaster Category Classification and peril Terminology for Operational Purposes"* (ver tabla 1). La tipología de evento para el estudio, se definió de acuerdo a los grupos Biológico, Geofísico, Hidrológico, Meteorológico y Climatológico. El sub-tipo de evento se clasificó como Aluvión, Inundación Glacial (GLOF), Inundaciones, Plagas, Floración algal fluvial, Floración algal marina, desprendimiento de roca, deslizamiento sísmico, deslizamiento volcánico y erupción volcánica.

Clasificación de eventos extremos, según tipo, sub-tipo y grupo al que pertenecen			
Grupo	Tipo	Sub-Tipo (ajustado a Aysén)	Sub-Tipo descrito en la publicaciones de este estudio
Geofísico	Terremoto	sismo, tsunami, deslizamiento	Deslizamiento sísmico
	Volcánico	Erupción volcánica	Erupción volcánica
	Movimiento de masas de tipo volcánico (en seco)	Desprendimiento de rocas, avalancha, deslizamiento, hundimiento	Deslizamiento volcánico
Meteorológico	Tormenta	Tormenta tropical, ciclón extratropical (tormenta invernal), tormenta local/convectiva	
Hidrológico	Inundación	Inundación general (fluvial), crecida repentina, Inundación de tormenta marejada/costa, Inundación	Inundaciones
	Movimiento de masas (húmedo)	Desprendimiento de rocas, avalancha, aluvión, hundimiento, inundación glaciar	Desprendimiento de roca, Aluvión, Inundación Glaciar (GLOF)
Climatológico	Temperatura extrema	Ola de calor, ola de frío, condiciones invernales extremas	
	Sequía	Sequía	
	Incendio naturales	Incendios forestales, incendios terrestres (pastos, matorrales, arbustos, etc.)	
Biológico	Epidemia	Infección vírica, infección bacteriana, infección parasitaria, infección fúngica, infección por priones	
	Infestación por insectos	Saltamontes, Gusanos de la hierba, cuncuna	Plagas
	Estampida de animales		
	Floración	Floración algal marina, floración algal fluvial	Floración algal marina, Floración algal fluvial
Extraterrestre	Meteorito/asteroide		

Tabla 1. Clasificación de eventos extremos. Fuente: Modificado de la clasificación de categorías de catástrofes y terminología de riesgos para fines operativos de CRED y Múnich RE (CRED, 2009; Below et al. 2009). Traducción libre.

RESULTADOS

1. Antecedentes

El estudio de registros de impactos de eventos extremos que afectaron la región de Aysén, se realiza en base a menciones en artículos científicos de la base de datos y antecedentes generales (anexo 1) que considera 63 artículos científicos y la identificación de 377 eventos mencionados. De estas menciones, 339 son eventos únicos individualizados y 38 eventos son mencionados más de una vez en varios artículos.

Los artículos científicos revisados fueron publicados entre los años 1990 y 2022. No obstante, solo se encontraron artículos publicados desde el año 2000 que mencionan eventos extremos. En cuanto a los eventos mencionados en dichas publicaciones, el primer evento destacado corresponde a la erupción del volcán Hudson, en el año 1971. Así, se identifican 339 impactos de eventos extremos únicos, identificados con una fecha y lugar específicos, que ocurrieron entre 1971 y 2022.

Los resultados obtenidos son una base de datos con publicaciones que registran eventos catastróficos, tabulada en un documento Excel (anexo 2). En el análisis se consideran finalmente las 377 menciones de eventos en publicaciones. Se incluyen en los siguientes análisis las 38 menciones repetidas, o sea un 10% del total ya que el estudio es indicativo en cuanto a la totalidad de eventos extremos ocurridos en Aysén. No se incorporan datos técnicos de los servicios públicos, pero reflejan la preocupación de los científicos por la temática más que un catastro exhaustivo de eventos extremos.

El estudio de eventos extremos ha cobrado relevancia para la comunidad científica en la región, a lo largo del tiempo. Los gráficos y mapas que se muestran a continuación presentan datos relacionados con la identificación y análisis de eventos extremos en la Región de Aysén, Patagonia chilena, haciendo hincapié en la zona de la Reserva de la Biosfera.

2. Gráficos

Respecto a la cantidad de publicaciones científicas que mencionan eventos extremos en la región de Aysén a lo largo del tiempo, en la figura 4 se observa que: las tendencias generales indican que **en la primera década (2000-2008) la cantidad de publicaciones científicas es baja** y presenta una tendencia más o menos estable. Entre los años **2009 a 2022**, se observa **un aumento significativo** de las publicaciones, alcanzando un máximo de 10 publicaciones (en 2020) que mencionan eventos extremos. Este periodo coincide con un **crecimiento general** en la cantidad total de artículos publicados. Aunque existe una baja en los años 2016 y 2017, la tendencia creciente en la cantidad de publicaciones sugiere un interés creciente en la investigación científica de la Región. Las alzas específicas, podrían estar

asociadas a eventos extremos particulares ocurridos en esos años, que motivaron particular interés científico.



Figura 4. Número de artículos científicos publicados por año en la región de Aysén desde 2000 a 2022. Fuente: elaboración propia, 2024.

A continuación, el gráfico de la figura 5 muestra el registro de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén entre los años 1971 y 2022. En términos generales, se observa un periodo de muy baja actividad entre 1971 y 1990, con apenas unas pocas menciones de eventos extremos, que no superan las cinco menciones anuales. Sin embargo, a partir del año 2006, se presenta un aumento significativo en las menciones, alcanzando un **máximo en 2007 con 59 menciones**. Otros años destacados en este aumento incluyen 2008, con 38 menciones, y 2010, con 46 menciones.

Por otra parte, la línea que representa la **cantidad de artículos científicos publicados por año** (en color azul) muestra un **crecimiento sostenido desde aproximadamente el año 2005**. El interés en documentar y estudiar estos eventos continúa aumentando, con un **máximo en el número de publicaciones entre 2016 y 2020**. Es importante destacar que, aunque en años recientes las menciones de eventos extremos han disminuido, la cantidad de publicaciones científicas mantiene una **tendencia ascendente**, lo que refleja un interés constante en la investigación de estos fenómenos en la región.

El gráfico evidencia un notable incremento en las menciones de eventos extremos a partir de mediados de la década del 2000, acompañado de un crecimiento progresivo en las publicaciones científicas relacionadas. Este patrón sugiere una mayor preocupación e interés por estudiar los impactos de eventos extremos en la Región de Aysén, especialmente en los últimos 15 años.

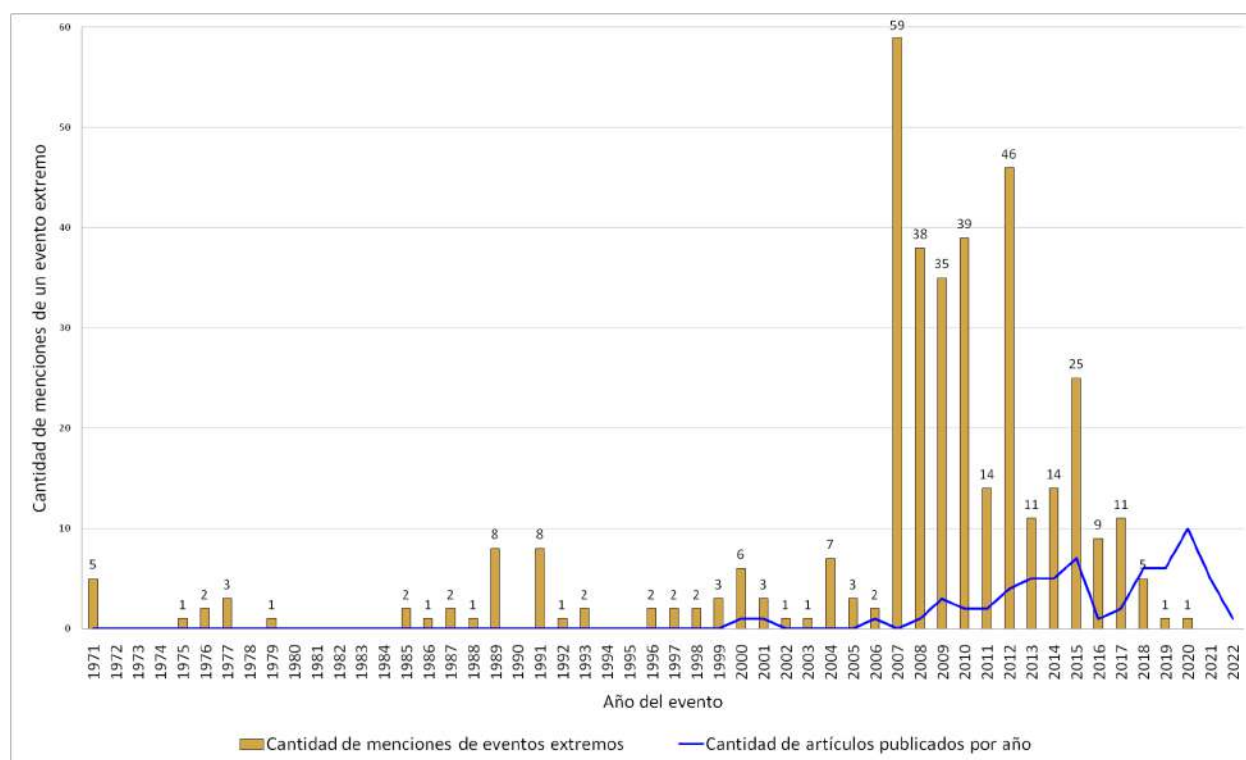


Figura 5. Registro de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén. Fuente: elaboración propia, 2024.

La figura 6 muestra registro de eventos extremos en publicaciones científicas a lo largo del tiempo (1971-2022), desglosado en dos categorías: la cantidad de “cantidad de eventos individualizados” (barras color mostaza) y la “cantidad total de eventos mencionados en publicaciones” (barras color azul). Este, revela tendencias significativas en la investigación científica relacionada con eventos extremos.

Entre los años 1971 y 2006, en general, se observa una baja actividad. En las primeras décadas del análisis, tanto los registros de impactos individualizados como las menciones de eventos extremos son escasos y dispersos. La actividad se mantiene en niveles muy bajos, con niveles rara vez superan las dos menciones y/o registros, por año. Los niveles más altos se observan hacia los años 1989 y 1991, 2000 y 2004. Este período puede ser reflejo de un bajo interés o menor capacidad de documentación sobre eventos extremos.

Entre el periodo 2007-2010, se presenta un punto de inflexión: el año 2007 representa un punto crítico en el análisis, con un aumento significativo en las menciones de eventos extremos (59) y registros individualizados (48). Este notable crecimiento indica la posible ocurrencia de eventos extremos importantes en la región, que llamaron la atención de la comunidad científica. La tendencia se mantiene alta durante los siguientes años, con valores que van entre los 32 y 39 registros y/o menciones. Esta estabilidad refleja un mayor interés sostenido en documentar los efectos de los eventos extremos en la región de Aysén.

Hacia el año 2011, ocurre una considerable baja, donde los registros y las menciones llegan a 12 y 14, respectivamente. Nuevamente, en 2012, se observa una importante alza en ambos números: 43 y 46 registros y menciones, respectivamente. Posteriormente, entre 2013 y 2017, ocurre una ligera disminución, aunque en 2015 se observa un nuevo pick de 24 registros y 25 menciones.

En los años más recientes del período analizado (2018-2022), se aprecia una reducción importante tanto en las menciones como en los registros de impactos individualizados. Las barras muestran valores iguales o cercanos a cero, lo que podría reflejar una disminución en la ocurrencia de eventos extremos o un menor interés en su documentación en las publicaciones científicas.

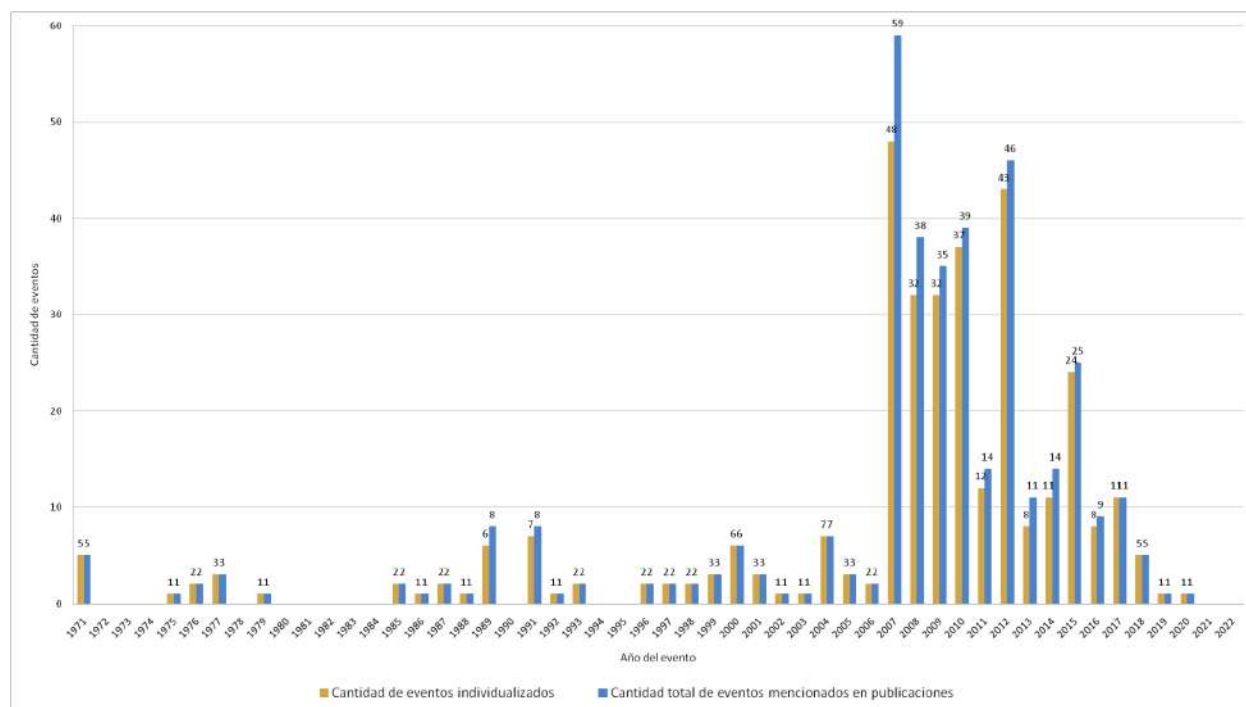


Figura 6. Registro de eventos extremos en publicaciones científicas. Fuente: elaboración propia, 2024.

Entre 1990 y 2021 no existen publicaciones científicas que registren eventos meteorológicos y climatológicos en Aysén. El **49%** de los eventos registrados corresponden a **eventos hidrológicos**, el **18%** a **geofísicos** y el **33%** a **biológicos** (ver figura 7).

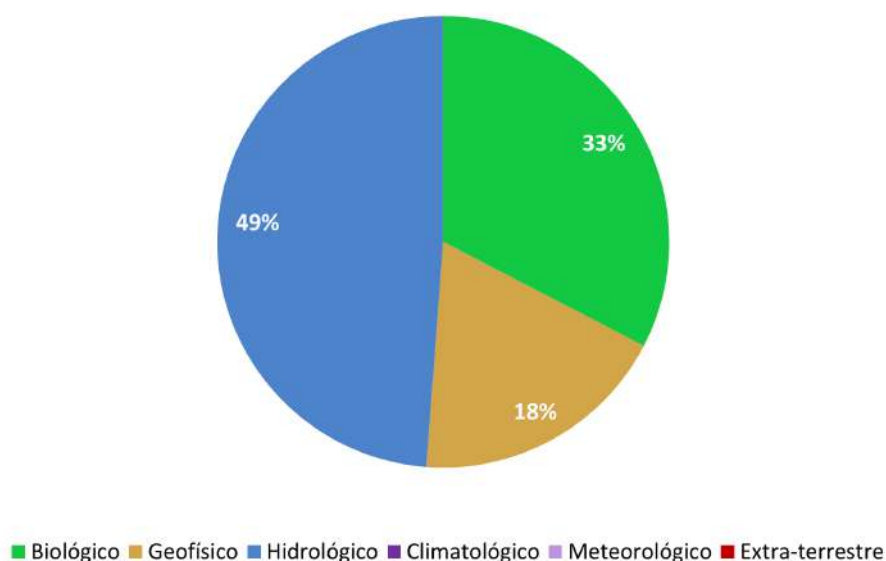


Figura 7. Proporción de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén, por tipo de evento extremo. Fuente: elaboración propia, 2024.

La figura 8 muestra que entre 1990 y 2021 no existen publicaciones científicas que registren eventos meteorológicos y climatológicos en Aysén, tal como sucede en el gráfico de la figura anterior (figura 7). En 2008, el 90% de los eventos registrados son de carácter geofísico, coincidiendo con el año de mayor ocurrencia de eventos GLOFs en el Lago Cachet II. En la mayoría de los años, los eventos hidrológicos predominan, excepto en 1971, 1992 y 2008, donde predominan los eventos geofísicos, y en los años 2011, 2013 y 2016, en los cuales los eventos biológicos son los más frecuentes. Por otro lado, 2009 destaca como un año con un alto número de eventos hidrológicos, representando casi el 90% de los 32 eventos individualizados descritos.

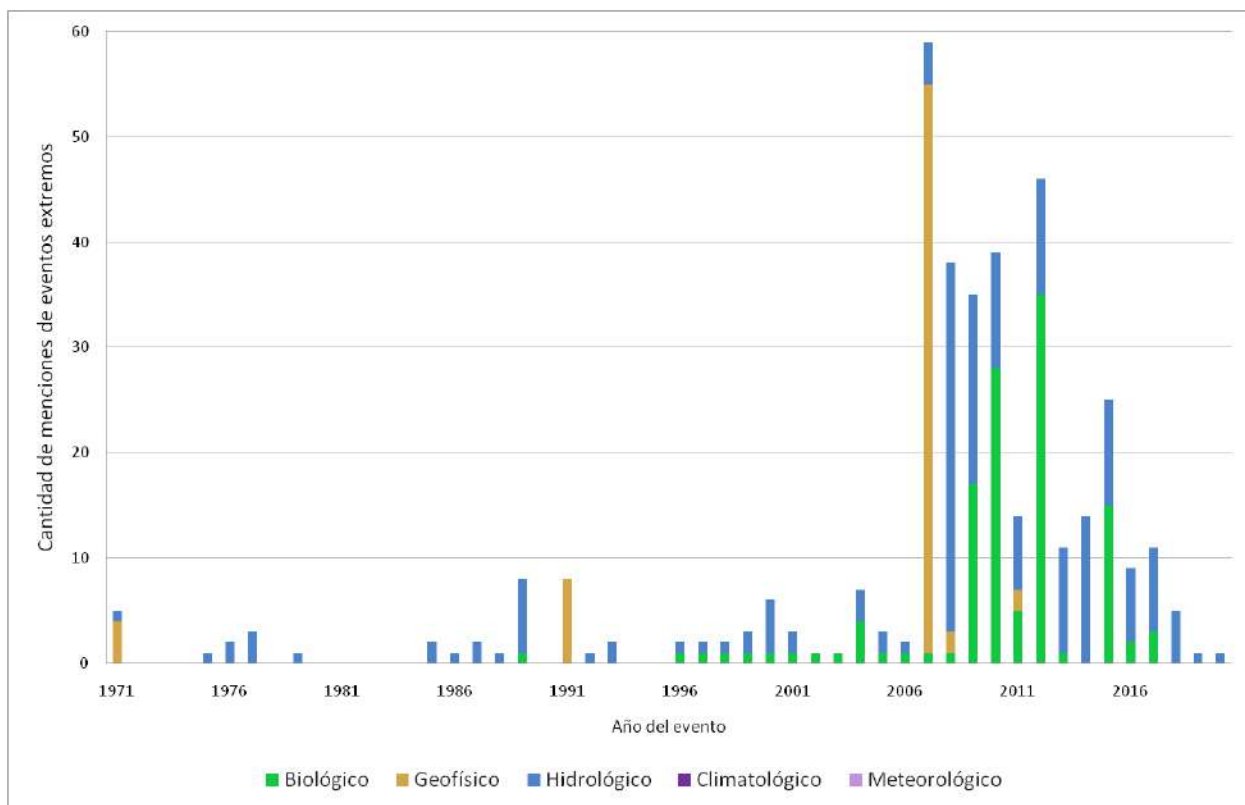


Figura 8. Registros de impactos de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén, por tipo de evento extremo. Fuente: elaboración propia, 2024.

La mayoría de los subtipos de eventos extremos, de los que se tiene registro, corresponden a inundaciones causadas por vaciamientos de lagunas glaciales o GLOF (33%), seguidos de floración algal marina (24%), deslizamientos provocados por sismos (15%) y otras inundaciones (14%). En contraste, se registra una cantidad significativamente menor de eventos catalogados como floración algal fluvial (7%), cenizas provenientes de erupciones volcánica (3%), aluviones (2%), deslizamientos provocado por erupciones volcánicas (1%), plagas (1%) y desprendimientos de roca de origen hidrológico 0.3% (ver figura 9).

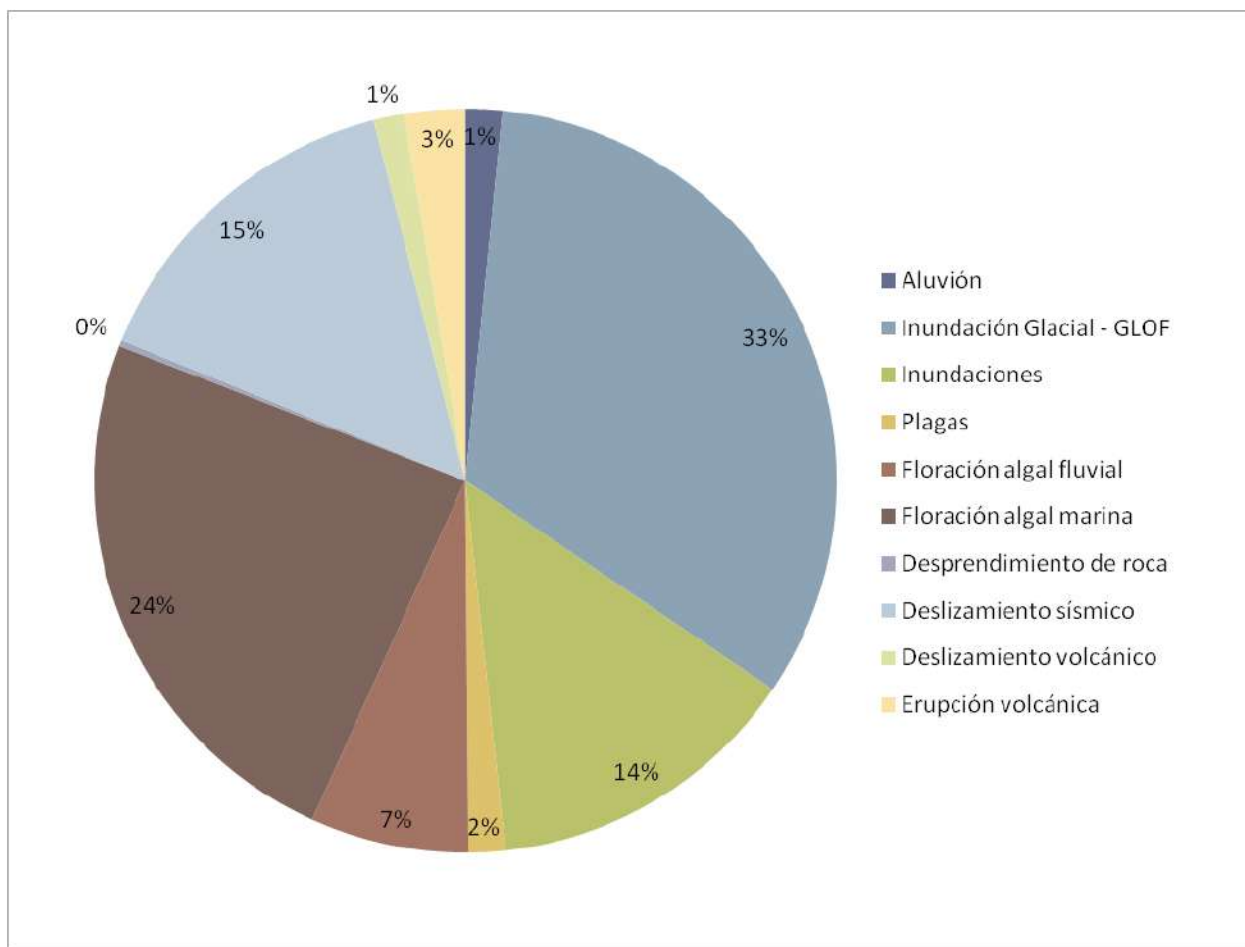


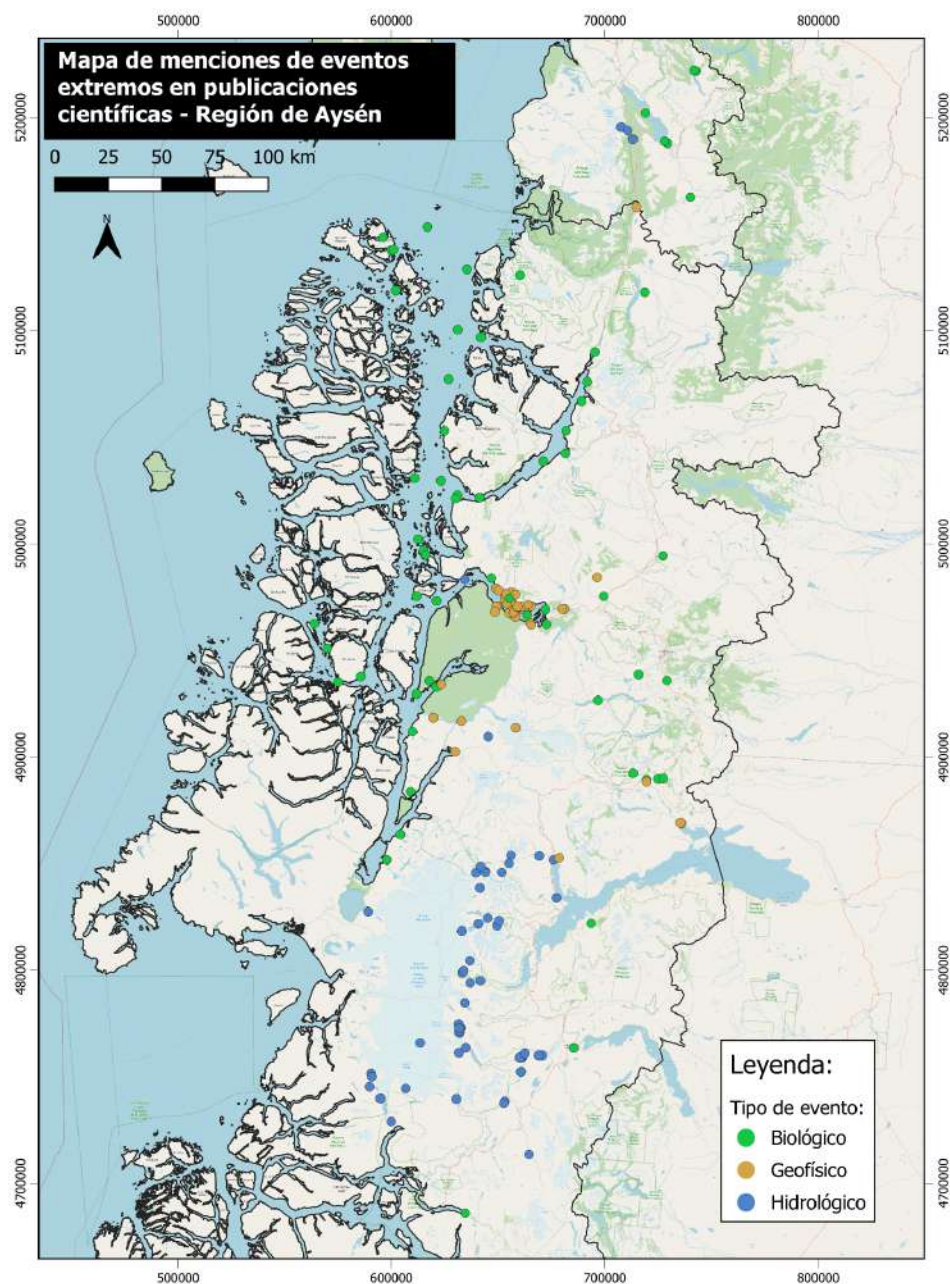
Figura 9. Proporción de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas que afectaron a la Región de Aysén, por sub-tipo de eventos. Fuente: elaboración propia, 2024.

3. Mapas de eventos extremos mencionados en publicaciones científicas

A partir de la información recopilada y tabulada, se generaron diferentes tipos de mapas, los cuales muestran la ubicación espacial, ocurrencia de los eventos extremos, densidades y la cantidad de publicaciones científicas identificadas que fueron revisadas. Se hace un análisis preliminar de posibles implicancias de esta repartición geográfica, incremento de eventos registrados desde 1971 y su localización en sitios mayormente transitados a partir de información preliminar surgida del estudio de las huellas digitales en la zona sur de la región de Aysén, destacándose sitios que son, por lo general, de mayor relevancia turística.

En la figura 10 se muestra que, de las 377 menciones a eventos extremos en Aysén, recopiladas en 63 publicaciones científicas, se observan diferentes patrones según la zona geográfica. En el litoral norte, que incluye el Canal de Moraleda desde Melinka, el sector de Raúl Marín Balmaceda, el fiordo Puyuhuapi y hasta el fiordo Aysén, así como la zona sur (hasta el fiordo Elefante y la laguna San Rafael), predominan los eventos biológicos registrados. En la zona extremo norte, se identifican eventos que se originan en la región de Los Ríos, como los relacionados con el volcán Chaitén, el río Futaleufú y Villa Cerro Santa Lucía, los cuales afectan la Carretera Austral y la región de Aysén, especialmente en sectores como Puyuhuapi y el fiordo Aysén.

En la zona central, los eventos geofísicos del fiordo Aysén y los cercanos al volcán Hudson son los más destacados. También se registran eventos biológicos relevantes en las comunas de Coyhaique y Río Ibáñez. En la zona centro-sur, se destacan los eventos asociados al sector oriental del Campo de Hielos Norte, abarcando desde el valle Exploradores hasta los valles Leones, Soler y Colonia, a la altura de Cochrane. Finalmente, en la zona sur, sobresalen los eventos vinculados al Campo de Hielos Norte, particularmente en el sector del fiordo Steffen, en la comuna de Tortel.



Fuentes cartográficas: OpenStreetMap, CIEP 2024.

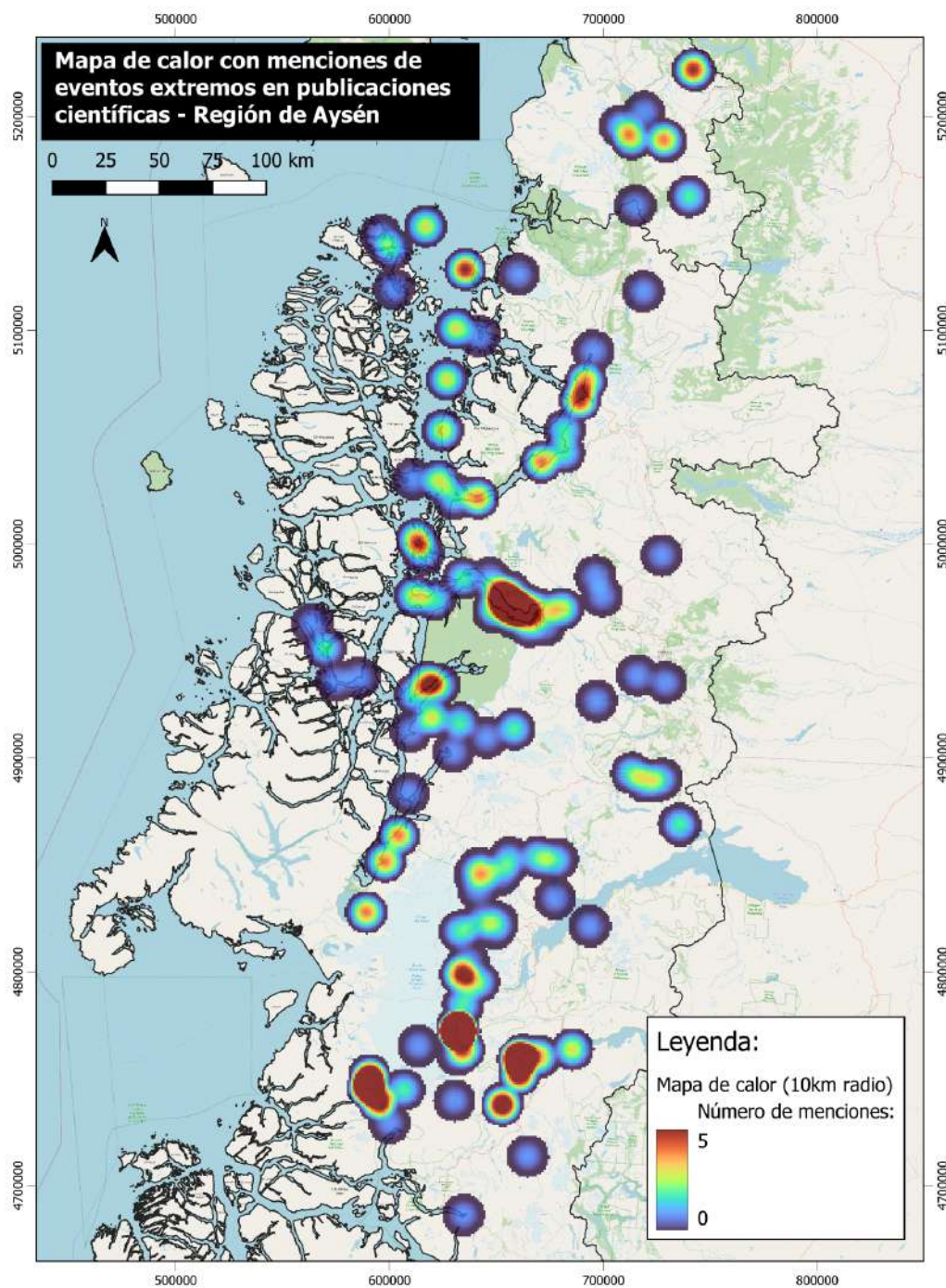
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S

Figura 10. Mapa de 377 menciones eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en Aysén. Fuente: elaboración propia, 2024.

Como se muestra en la figura 11, se identifican focos con más de cinco menciones de eventos extremos distribuidos en distintas zonas de Aysén. En la zona norte, destacan el sector de los ríos Futaleufú y Palena, afectados por floraciones algales, la Carretera Austral en el sector de Villa Cerro Santa Lucía-La Junta, donde se registran deslizamientos, y los fiordos de Puyuhuapi, caracterizados por floraciones algales marinas. En la zona centro y el litoral, se observan eventos de origen sísmico en el fiordo Aysén y floraciones algales en el canal de Moraleda. En la zona sur, sobresalen los eventos hidrológicos en el valle Exploradores, así como en el Campo de Hielos Norte, específicamente a la altura de los valles Soler y Colonia y del río Baker. Asimismo, en esta región, el sector glaciar y el fiordo Steffen concentran eventos hidrológicos destacados.

En tanto que, en la figura 12 se puede observar la evolución anual de los eventos mencionados. El primer evento registrado data de 1971, relacionado con la erupción del volcán Hudson, que vuelve a ser mencionada en 1991. Entre 1971 y 2005, se describen muy pocos eventos, principalmente hidrológicos puntuales asociados al Campo de Hielo. En 2008, se registra un aumento significativo de eventos hidrológicos, tendencia que se mantiene hasta 2015, cuando las menciones disminuyen considerablemente.

A partir de 2014-2015, destacan múltiples menciones a eventos hidrológicos en la zona oriente del Campo de Hielo Norte. Paralelamente, entre 2009, 2011/2012, 2013 y 2016, se describen numerosos eventos biológicos en el litoral. En contraste, para 2020 y 2021, el número de menciones de eventos extremos disminuye notablemente.



Fuentes cartográficas: OpenStreetMap, CIEP 2024.

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S

Figura 11. Mapa de 377 menciones eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en Aysén. Fuente: elaboración propia, 2024.

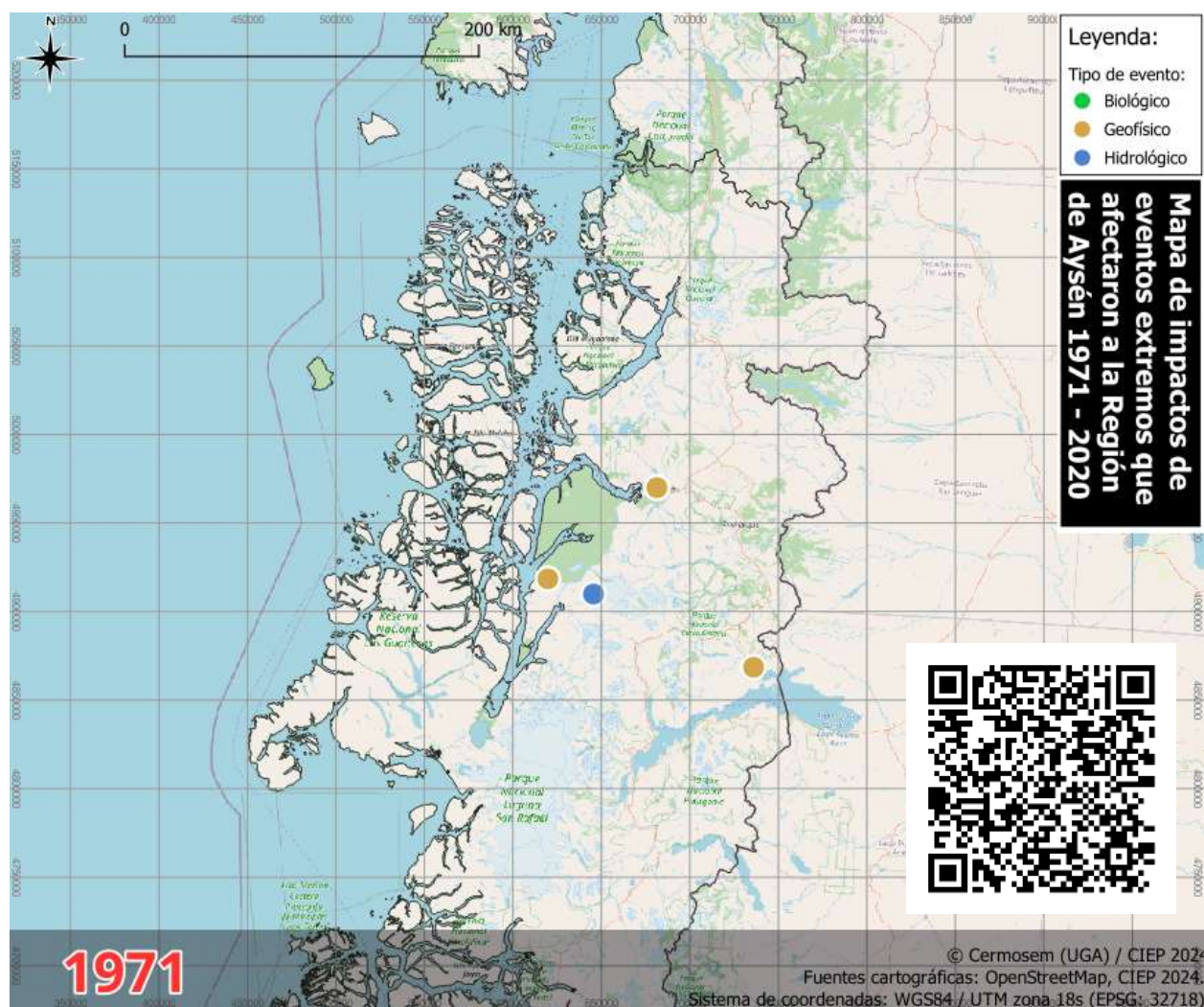
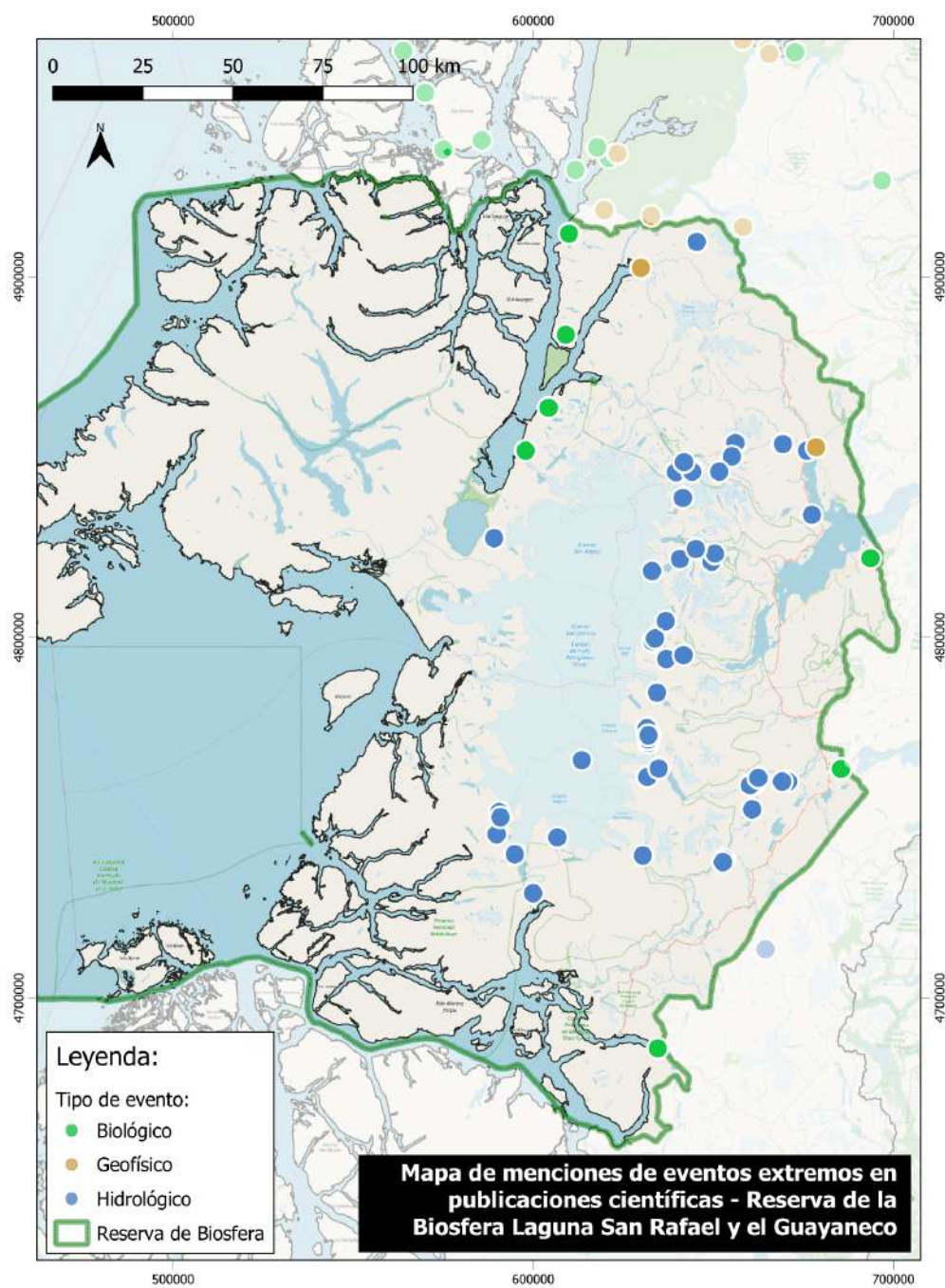


Figura 12. Mapa dinámico (QR) de 377 menciones eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en Aysén.
Fuente: elaboración propia, 2024.

Según la **figura 13**, los eventos extremos se concentran en distintas áreas de la Reserva de Biosfera de Aysén. En la zona norte, destacan el sector de Murta y el valle Exploradores, con predominancia de eventos hidrológicos. En la zona centro-sur, los eventos hidrológicos se concentran en el borde oriental del Campo de Hielos Norte, a la altura de Cochrane, particularmente en los valles Soler y Colonia, así como en el río Baker. En la zona sur, se identifican eventos hidrológicos en el sector del fiordo Steffen. En el litoral, se registran eventos biológicos al sur del canal de Moraleda, específicamente en el fiordo Elefante y la laguna San Rafael. Además, se observan eventos geofísicos únicos localizados en el litoral, como en el fiordo Quitralko, y en la cuenca del río Murta, cerca del volcán Hudson. Por otro lado, hay menciones de eventos biológicos en la zona oriental de la Reserva, incluyendo Mallín Grande, Cochrane, y el fiordo Mitchell, cerca de Puerto Yungay.



Fuentes cartográficas: OpenStreetMap, CIEP 2024.

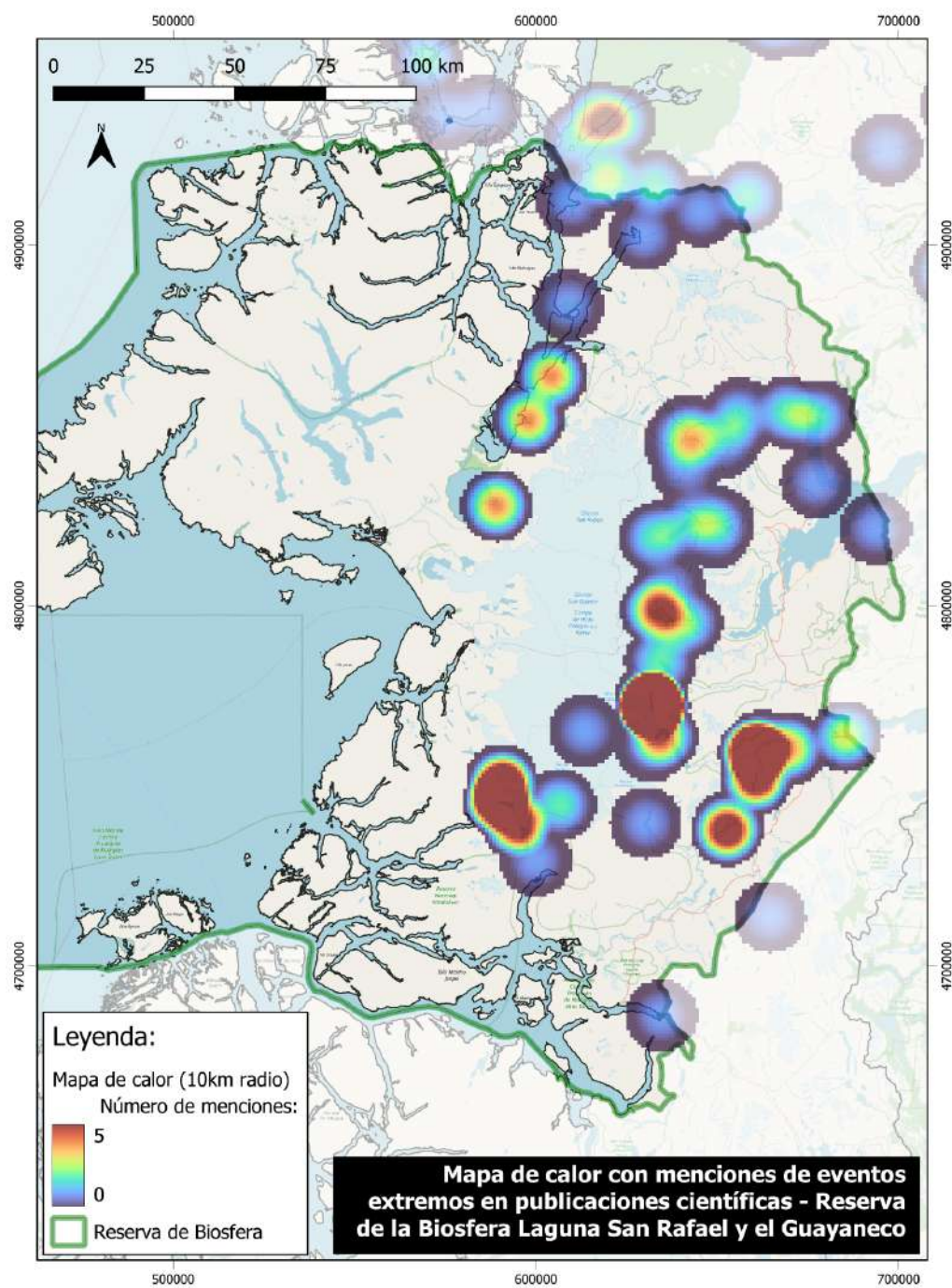
Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S

Figura 13. Mapa de eventos individualizados en publicaciones científicas seleccionadas en la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y el Guayaneco. Fuente: elaboración propia, 2024.

De acuerdo con la figura 14, se identifican focos con más de tres menciones de eventos extremos en la Reserva de Biosfera de Aysén distribuidos de la siguiente manera: en la zona norte, el valle Exploradores destaca por la ocurrencia de eventos hidrológicos. En la zona centro-sur, los eventos hidrológicos se concentran en el Campo de Hielos Norte, específicamente a la altura de Cochrane, incluyendo los valles Soler y Colonia, así como el río Baker. En la zona sur, el sector del fiordo Steffen sobresale por la presencia de eventos hidrológicos. Y, en la zona litoral, al final sur del canal de Moraleda, en el fiordo Elefante y la laguna San Rafael, predominan los eventos biológicos.

Según la figura 15, los eventos extremos ocurridos por año en la Reserva de Biosfera mencionados en publicaciones científicas presentan una tendencia específica. El primer evento registrado data de 1971, asociado con la erupción del volcán Hudson, que se menciona nuevamente en 1991. Entre 1971 y 2005, se describen muy pocos eventos, predominantemente hidrológicos asociados al Campo de Hielo.

En 2007 y 2008, se registra un aumento significativo en la mención de eventos hidrológicos, tendencia que se mantiene hasta 2016, cuando las menciones disminuyen considerablemente. A partir de 2016, las publicaciones mencionan casi exclusivamente eventos hidrológicos concentrados en la zona oriental del Campo de Hielo Norte.



Fuentes cartográficas: OpenStreetMap, CIEP 2024.

Sistema de coordenadas: WGS 1984 UTM Zona 18S

Figura 14. Mapa de concentración de menciones de eventos extremos en la RB Laguna San Rafael y el Guayaneco, en ubicaciones científicas seleccionadas en Aysén. Fuente: elaboración propia, 2024.

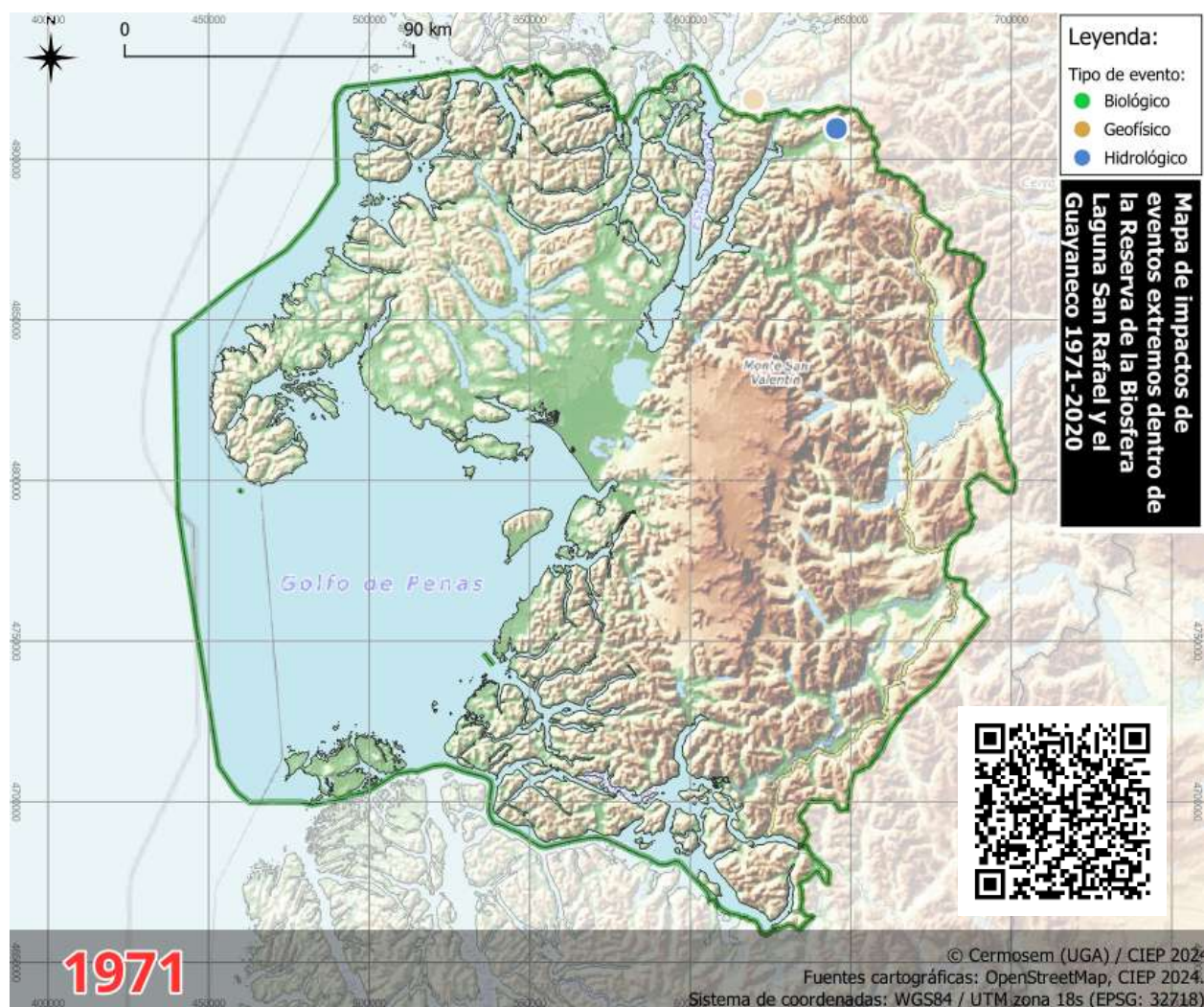


Figura 15. Mapa dinámico (QR) de ocurrencia anual de menciones de eventos extremos en 63 publicaciones científicas seleccionadas en la Reserva de la Biosfera Laguna San Rafael y el Guayaneco. Fuente: elaboración propia, 2024.

DISCUSIÓN

1. Relevancia del estudio para la toma de decisiones

El resultado de este trabajo es relevante para los tomadores de decisión a considerar en los planes y programas regionales. Los antecedentes entregados informan de fenómenos extremos de origen natural desde 1990, registrados en estudios científicos y que pueden haber afectado en mayor o menor medida a las comunidades y sus actividades productivas (en particular el sector turismo, la pesca artesanal, la industria acuícola y silvoagropecuaria). Esta información podrá ser usada referencialmente para que organismos competentes puedan evaluar los riesgos asociados o soliciten mayores estudios en zonas focales.

Existe un número significativo de **eventos informados en publicaciones científicas** para la región de Aysén **en 3 de las 6 tipologías** de eventos de Below et al. (2009); Hidrológico, Geofísico y Biológico pero no Meteorológico, Climatológico o Extraterrestre. Es relevante destacar que el IPCC (2012) menciona solo el concepto de eventos climatológicos y meteorológicos que pueden generar riesgos a las personas en el marco del Cambio Climático. Ahora la mayoría de los eventos extremos identificados tienen causas múltiples o sinérgicas (Geofísico y Meteorológico y Climatológico) no necesariamente relacionadas o atribuibles a efectos del Cambio Climático. Es así como, por ejemplo, un evento catastrófico de tipo volcánico puede no tener relación con el CC, pero el aumento de temperaturas promedio (incremento del isoterma) puede ser una condición agravante en el momento de ocurrir un lahar (mayor derretimiento de nieve y hielo).

Es relevante también destacar que existen aún pocas publicaciones científicas que informan de eventos extremos climatológicos y meteorológicos (la primera se registra en 2023). Estos eventos son más difíciles de localizar específicamente en relación con el área en la cual actúan y temporalmente son difíciles de identificar para poder ser representados cartográficamente. Por otro lado, son pocos los investigadores con enfoque en la climatología o meteorología que se han interesado en estudiar la región. Los efectos de este tipo de eventos son más globales y sinérgicos y afectan espacios más amplios requiriendo una representación por áreas y transectos más que por puntos focales. Los eventos geofísicos, hidrológicos o biológicos son de cierta manera más individualizables y ubicables espacialmente para poder evaluar puntos de mayor exposición, vulnerabilidad y riesgo. Las autoridades pueden tomar, más fácilmente, medidas de resguardo en puntos focales. No quita que deban formularse políticas generales que mejoren la resiliencia (por ejemplo cambios en las normas de construcción) pero en una zona poco urbanizada como la región de Aysén podría ser clave enfocar esfuerzos en puntos focales donde hay mayor ocurrencia de eventos individualizables.

Evaluar la vulnerabilidad y riesgos para el sector productivo y el turismo

Enlazar los **eventos a las zonas de interés turístico y las rutas principales** de acceso, visualizadas mediante el trabajo sobre Huellas Digitales, permite representar zonas de efectos consecuentes de eventos catastróficos. Es de pensar que con el auge del turismo se observan nuevos peligros y riesgos de impacto a la infraestructura turística y a visitantes y asentamientos en zonas aisladas, cerca de atractivos (glaciares como el glaciar Explorador, ríos emblemáticos, paisajes o áreas de los parques nacionales). Observamos también que la industria del salmón y la actividad forestal son más bien afectadas principalmente por eventos biológicos. En este ámbito nuevamente las redes de monitoreo son escasas o de muy reciente en desarrollo.

Ninguno de los artículos o documentos recopilados cuantifican los **impactos que estos fenómenos** tienen sobre las comunidades o sobre el turismo. Describen el evento, sus orígenes y frecuencia. Por ende hacer un enlace entre los eventos y las zonas de interés turístico y rutas principales de acceso puede ayudar en identificar zonas de vulnerabilidad ante eventos extremos en el marco de políticas públicas para fomentar el desarrollo productivo y del turismo en la región.

Un estudio reciente realizado por el CIEP y la Universidad Grenoble Alpes buscó evaluar de manera exploratoria, mediante la revisión de las aplicaciones turísticas, naturalistas y deportivas, principalmente Komoot, Wikiloc, PlanNet, Suda y Google Maps, los ejes de circulación de personas en el sur de la región de Aysén. La búsqueda de trazados, puntos y áreas se realizó en plataformas digitales mediante la búsqueda de las siguientes palabras claves, hitos toponímicos; “Aysén”, “Murta”, “Laguna San Rafael”, “Capillas de Mármol”, “Glaciar Exploradores”, “Glaciar Steffen”, “Lago Leones”, “Parque Nacional Patagonia”, “Tamango”, “Torres del Avellano”, “Tortel”, “Lago Jeinimeni” y “Guadal”. La revisión individual de las plataformas Strava, Komoot, Alltrails, Wikiloc, PlanNet, Suda Outdoors, Google Maps, Camp to Camp, Park4night, Visorando y GBIF informan de más de 10.000 “huellas digitales” dejadas por visitantes, usuarios y deportistas. Se seleccionaron 645 trazados representantes de una diversidad de puntos, trazados y zonas. La selección refleja proporcionalmente repeticiones de trazados y de puntos de sitios y rutas más transitadas. Se revisaron datos de citas, “likes” y comentarios en cada punto para evaluar su relevancia para las redes sociales. Si bien no se cuantifica precisamente el número de visitantes se identifican puntos, ejes y áreas de circulación con un nivel de intensidad de uso. La magnitud de uso se establece mediante la cantidad de veces que un punto, una ruta o un área es mencionado, comentado o bajado desde una aplicación por otros usuarios. La intensidad de menciones informa de lugares de mayor relevancia y posible presión sobre las infraestructuras o los espacios naturales y lugares donde se han registrado eventos extremos.

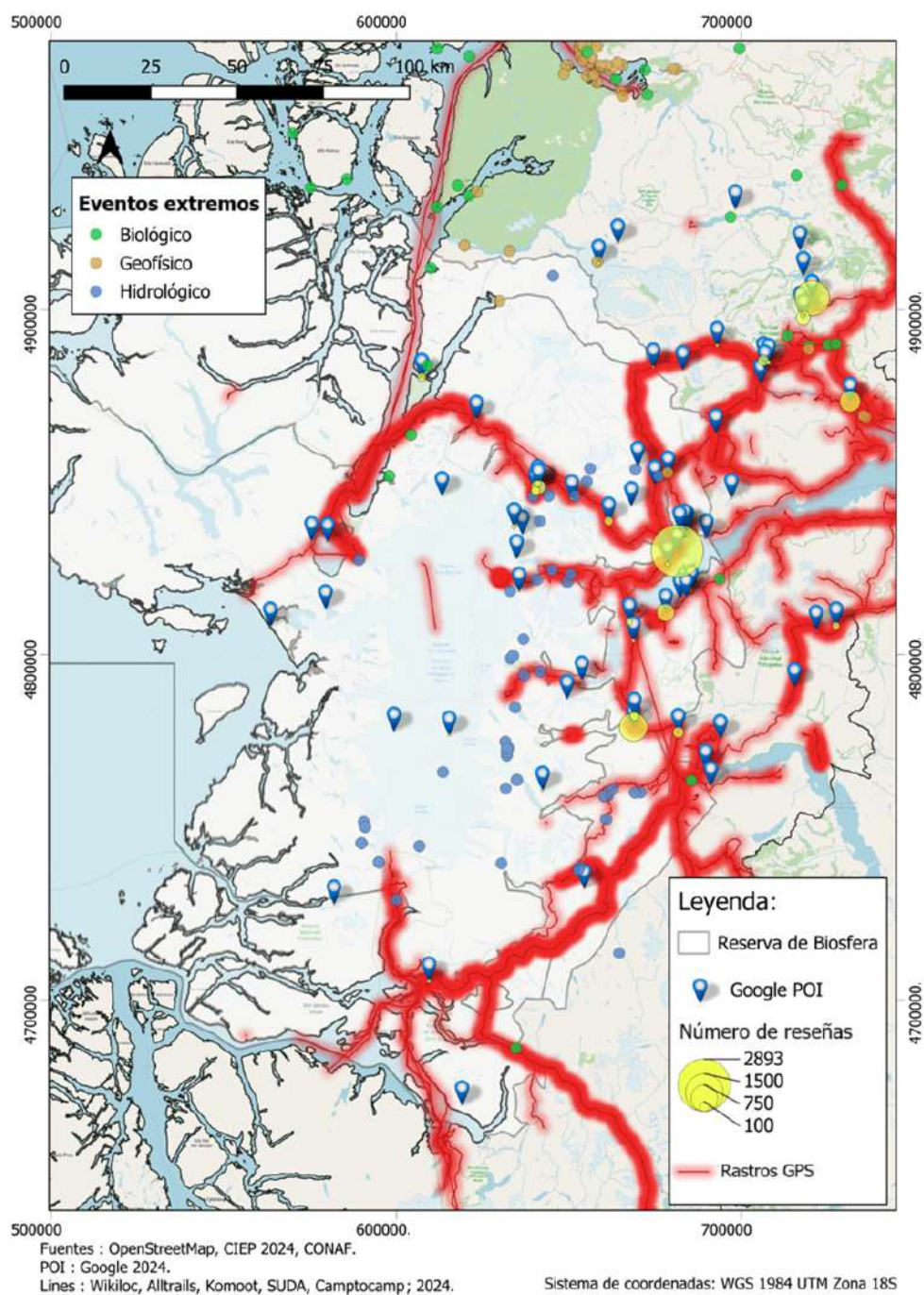


Figura 16. Mapa de trazados de Google POI, Huellas Digitales y sitios de eventos extremos. Fuente: CIEP y Universidad Grenoble Alpes, 2024.

El mapa (figura 16) presenta puntos de eventos extremos (puntos verdes (evento biológico), puntos naranja (eventos geofísicos) y puntos azules (eventos hidrológicos). Se presentan las huellas digitales

donde el trazado en rojo es proporcional a repeticiones de menciones y de opiniones informados en aplicaciones, principalmente WIKILOC y Google Maps (círculos amarillos).

Se observa que los sitios mayormente mencionados por usuarios son, de norte a Sur: Villa Cerro Castillo y Puerto Ibáñez, Puerto Tranquilo y Capillas de Mármol, Glaciar Exploradores, Puerto Guadal, Cochrane y Río Baker con entre 100 y 2893 comentarios. Los sitios de mayores visitas que coinciden con eventos extremos son: Villa Cerro Castillo, Murta, Valle y Glaciar Exploradores, Valle Leones y sector Cochrane. En los sitios de mayor ocurrencia de eventos extremos que son Lago Cachet II, Valle Exploradores, Valle Leones y fiordo elefante (ruta Bahía Exploradores a Laguna San Rafael) se observan pocas visitas. Dos sectores parecen destacarse como de mayores riesgos para el visitante son el Valle Exploradores, Valle Leones, Valle Soler y Glaciar Steffen y las rutas de acercamiento al Campo de Hielo Norte. Estos sectores en prioridad deberían ser más estudiados para evaluar los riesgos a las personas.

2. Perspectivas y recomendaciones

Fortaleciendo el conocimiento regional puede crear capacidades locales que puedan acompañar a los sectores productivos y anticipar posibles efectos de los eventos catastróficos y por ende impulsar estrategias de adaptación al cambio climático o mejorar la resiliencia de las actividades regionales, en particular en zonas turísticas claves, hitos regionales o áreas protegidas. Es relevante **diseñar programas de investigación y vigilancia** participativa para un desarrollo turístico más sostenible.

Cabe mencionar que un incremento muy significativo de registros de eventos extremos en publicaciones científicas hacia el año 2007. Este hecho, puede coincidir con el inicio de estudios de línea base para el proyecto HidroAysén y de Colbún, la creación del centro de investigación regional CIEP, fundado por varias universidades y en particular la Universidad Austral de Chile y la Universidad de Concepción el año 2005. En este periodo se destacan los estudios de eventos como el sismo de Puerto Aysén en 2007 y, posteriormente, los GLOFs del Lago Cachet II el año 2008.

Nuevos estudios deberían enfocarse en proporcionar información sobre las **percepciones y la evolución de los comportamientos frente a estos eventos** para conocer las estrategias de adaptación al cambio climático del sector turismo. Sería relevante 1) Identificar las estrategias dominantes de los actores locales en su uso turístico de los recursos naturales, 2) evaluar las percepciones generales de los actores locales de los eventos extremos que pueden ser relacionados con el cambio climático, 3) identificar las acciones, planes y estrategias de adaptación del sector turismo y 4) monitorear la evolución de las estrategias de adaptación cuando aumente el conocimiento científico sobre el cambio climático. Este trabajo (White Paper) es una contribución mediante una revisión exhaustiva de literatura. A futuro, se requiere actualizar datos desde las publicaciones científicas e incorporar otros antecedentes técnicos (en el tema de incendios naturales, eventos meteorológicos extremos, por ejemplo) para tener una idea de la magnitud del efecto del Cambio Climático y el posible incremento de los eventos extremos en Aysén.

Limitaciones del estudio sobre eventos extremos

Existe un desafío en cuanto a la representación espacial de los eventos catastróficos identificados. Pocos estudios informan de su repartición espacial precisa que permita evaluar posibles riesgos a la población e infraestructura. Se ha optado por una representación localizada al punto de partida o un lugar de impacto específico en una zona con actividad humana de un evento ocurrido en una región aledaña (como es el caso de la erupción del volcán Chaitén o del deslizamiento del Cerro Santa Lucía en la región de Los Lagos hacia la carretera austral en la entrada norte de Aysén).

La evaluación de la incidencia de los eventos extremos debe ser profundizada. Los mapas de mayor ocurrencia (mapa de calor) informan de la suma de eventos en un sector. A modo de ejemplo, un GLOF tiene una incidencia río abajo muy importante y un deslizamiento de tierra (como el que ocurrió en el cruce Murta en 2021) afecta toda la ladera de un cerro y un tramo del camino. Si bien algunos documentos de organismos como SERNAGEOMIN, ONEMI tienen mapas con polígonos para usarlos de ejemplo, los mapas producidos no son de “riesgos” sino más bien de “vulnerabilidad”. Informan de la existencia de zonas con mayor ocurrencia de eventos y posibles impactos al sector turismo.

Se recomienda profundizar el presente trabajo actualizando la base de datos de publicaciones científicas, en particular para los años 2022 a 2024 y con la incorporación de informaciones de servicios públicos sobre eventos extremos en la región de Aysén. El conocimiento busca potenciar la gobernanza territorial, la gestión ambiental y contribuir a mejorar el bienestar social en la Región de Aysén.

CONCLUSIÓN

A partir del análisis de los registros de eventos extremos en la región de Aysén en publicaciones científicas desde 1990, enmarcado en la actualización de conocimientos base para el estudio para la resiliencia, sostenibilidad y valorización de la Reserva de la Biósfera LSR-G (proyecto FIC BIP 40049360-0) y el estudio socio-ecológico de largo llevado por el CIEP (proyecto ANID PATSER, R20F0002), se cumple con los objetivos del estudio, identificando eventos extremos relevantes en el contexto de la Crisis Climática actual, que han afectado al territorio, sus ecosistemas, el patrimonio natural y cultural o a las infraestructuras, con el afán de aportar a fortalecer la resiliencia de las comunidades que lo habitan.

Un “evento extremo” se transforma en un “evento catastrófico” cuando los habitantes de un territorio no están previamente informados y no adoptan medidas de adaptación y mitigación. En ese sentido, es de suma relevancia tener conocimiento sobre la ocurrencia de estos eventos, características, localización y tendencias, que ayuden a gestionar mejor el riesgo de desastre y las estrategias de adaptación frente a estos y el cambio climático. El estudio de bibliografía realizado, en este sentido contribuye a informar sobre los eventos que han ocurrido, y pueden entregar información sobre la relación en los impactos que pueden tener algunos eventos para la ocurrencia de otros, por ejemplo, una erupción volcánica con un bloom algal, donde el depósito de sedimento proveniente de la erupción afecta de manera negativa la flora marina provocando inestabilidad y por consiguiente una floración algal.

Este catastro de “eventos extremos” se basó en la identificación de artículos científicos en las bases de datos de la plataforma OneSearch, mediante palabras claves y topónimos regionales, que informan geográficamente y en una fecha precisa de fenómenos de origen natural inusuales. Este estudio es un primer paso para poder mitigar sus efectos y prevenir que se conviertan en desastres o eventos catastróficos. No se han considerado los informes técnicos existentes en los diferentes servicios del estado (Servicio Geológico y Minero, Dirección de Agua, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno Regional de Aysén, etc.) por ser un trabajo más complejo de realizar, requiere de articulación interministerial, acuerdos metodológicos y mayores recursos. Tampoco, se informa del riesgo asociado a cada evento, no obstante, se presentó de manera indicativa y ejemplificadora, en el último capítulo de este informe, un estudio reciente realizado por el CIEP y la Universidad Grenoble Alpes que buscó evaluar exploratoriamente las huellas digitales de visitantes y por ende la presencia de personas en ejes o sitios destacados de la región de Aysén. Esto, mediante la revisión de información entregada en las aplicaciones turísticas, naturalistas y deportivas. Estimar la presencia e interés en sitios específicos de visitantes debe permitir identificar sitios de mayor exposición y riesgos. Finalmente y no menos importante, no se han incluido en este informe las percepciones de los habitantes del territorio, quienes poseen un conocimiento in situ de los procesos y eventos que ocurren a lo largo del tiempo, y que muchas veces sólo son ellos los testigos. Esto es materia de otro estudio en curso.

Como resultados el estudio informa que 39 artículos mencionan eventos extremos en la región de Aysén, con un evento específico, en una fecha y sitio georeferenciable. Ocho expertos asociados al trabajo aportaron con 24 artículos adicionales que no fueron detectados en la búsqueda inicial en OneSearch. A partir de esta base de datos de 63 artículos se identificaron 377 eventos mencionados por los científicos de los cuales 339 fueron eventos únicos registrados por científicos entre 1971 y 2022. La cartografía que se presenta se basa en las 377 menciones de eventos extremos, se incluyen las 38 menciones repetidas (casi un 10% del total), representativo para el análisis cuantitativo, en particular el de identificar zonas mayormente mencionadas con eventos extremos.

Desde 1990, se observa un crecimiento en la cantidad de artículos científicos publicados por año. A partir de 2007, se observa un crecimiento sostenido con un máximo en el periodo 2016 - 2022, el cual sugiere un interés en la investigación científica de la región. Este incremento podría estar relacionado con la formación del Centro de Investigación en Ecosistema de la Patagonia en 2005, o la ocurrencia de eventos extremos relevantes con una mayor cobertura de estos fenómenos en publicaciones científicas. Otra razón podría estar relacionada al inicio de estudios de línea base para el proyecto HidroAysén, donde su primera fase de proyecto comenzó en el año 2005 con el inicio de los estudios técnicos, medioambientales, sociales y posibles publicaciones científicas posteriores. Otras razones podrían estar relacionadas al estudio de eventos importantes en la región como el sismo de Puerto Aysén de 2007 y los GLOFs del Lago Cachet II 2008.

Existe una mayor mención de eventos extremos en los años 2018 (90 registros), 2020 (59 registros) y 2021 (71 registros). Sobre los eventos registrados, 49% son eventos hidrológicos, 18% geofísicos y 33% biológicos. De acuerdo con los sub-tipos de eventos, 15% son deslizamiento asociado a sismos, 4% de actividad volcánica, 14% correspondientes a inundaciones, 0,3% a Remoción en masa, 1% son Aluviones, 33% Inundaciones de origen Glacial (GLOF), 2% de Plagas, 24% de floraciones de algas marinas y 7% de floraciones de algas fluviales.

En toda la región de Aysén los eventos extremos se concentran en 1) la zona norte, sector de los Ríos Futaleufú y Palena (con floraciones algales) y la Carretera Austral a altura de la Villa Cerro Santa Lucía y La Junta (con deslizamientos), 2) en litoral sector Fiordo Puyuhuapi (Floración Algal marina), 3) en el litoral de la zona centro con eventos de origen sísmico en el fiordo Aysén y la floraciones algales del canal de Moraleda, 4) en la zona sur con los eventos hidrológicos en el Valle Exploradores y el Campo de Hielos Norte a altura de los Valles Soler y Colonia y Río Baker, y los eventos hidrológicos en el sector glaciar y fiordo Steffen. En la Reserva de Biosfera Laguna San Rafael y Guayaneco los eventos se concentran más bien en 1) la zona norte: sector Murta y Valle Exploradores (eventos hidrológicos), 2) en la zona centro sur: en el borde oriental del Campo de Hielos Norte, a altura de Cochrane (Soler, Valle Colonia) y río Baker (eventos hidrológicos), 3) en la zona sur: en el sector Fiordo Steffen (eventos

hidrológicos) y 4) en el litoral: al final sur del Canal de Moraleda en el Fiordo Elefante y Laguna San Rafael (eventos biológicos).

Es relevante también destacar que existen aún pocas publicaciones científicas que informan de eventos extremos climatológicos y meteorológicos (la primera se registra en 2023). Estos eventos son más difíciles de localizar específicamente (de no existir una mayor red de estaciones meteorológicas) y de identificar temporalmente, para poder ser representados cartográficamente. Sus efectos son más globales y sinérgicos y afectan espacios más amplios requiriendo una representación por áreas y transectos más que por puntos focales. Los eventos geofísicos, hidrológicos o biológicos son de cierta manera más individualizables y ubicables espacialmente para poder evaluar puntos de mayor exposición, vulnerabilidad y riesgo. Las autoridades pueden tomar, más fácilmente, medidas de resguardo en puntos focales. No quita que deban formularse políticas generales que mejoren la resiliencia (por ejemplo cambios en las normas de construcción) pero en una zona poco urbanizada como la región de Aysén podría ser clave enfocar esfuerzos en puntos focales donde hay mayor ocurrencia de eventos individualizables.

Ninguno de los artículos o documentos recopilados evalúan los impactos que estos fenómenos tienen sobre las comunidades o sobre el turismo. Un enlace entre los eventos extremos y las zonas de interés turístico puede ayudar en identificar zonas de vulnerabilidad. De acuerdo con el estudio sobre huellas digitales de los visitantes, observamos que los sitios mayormente mencionados por usuarios son, de norte a Sur: Villa Cerro Castillo y Puerto Ibáñez, Puerto Tranquilo y Capillas de Mármol, Glaciar Exploradores, Puerto Guadal, Cochrane y Río Baker con entre 100 y 2893 comentarios. Los sitios de mayores visitas que coinciden con eventos extremos son: Villa Cerro Castillo, Murta, Valle y Glaciar Exploradores, Valle Leones y sector Cochrane. En los sitios de mayor ocurrencia de eventos extremos que son Lago Cachet II, Valle Exploradores, Valle Leones y Fiordo Elefante (ruta Bahía Exploradores a Laguna San Rafael) se observan pocas visitas. Dos sectores parecen destacarse como de mayores riesgos para el visitante son el Valle Exploradores, Valle Leones, Valle Soler y Glaciar Steffen y las rutas de acercamiento al Campo de Hielo Norte. Estos sectores en prioridad deberían ser más estudiados para evaluar los riesgos a las personas.

Este trabajo podrá contribuir en definir posibles estrategias de reducción de riesgos y de adaptación, entregando: 1) una base de datos sobre eventos extremos registrados en publicaciones científicas de 1990 a 2022, 2) un análisis estadístico preliminar de eventos extremos ocurridos a partir de 1971 y hasta 2022 informados en publicaciones científicas desde 1990, 3) una cartografía de lugares de ocurrencia de eventos extremos informados en publicaciones científicas y 4) elementos de reflexión para la discusión de los posibles impactos de eventos extremos sobre los visitantes de la reserva de biosfera, cruzando datos con una muestra de registros de las huellas digitales disponibles en aplicaciones para viajeros.

El resultado de este trabajo es **relevante para los tomadores de decisiones**. Los antecedentes entregados informan de fenómenos extremos de origen natural desde 1971, registrados en estudios científicos y que pueden haber afectado en mayor o menor medida a las comunidades y sus actividades productivas (en particular el sector turismo, la pesca artesanal, la industria acuícola y silvoagropecuaria). Esta información podrá ser usada referencialmente para que organismos competentes puedan evaluar los riesgos asociados o soliciten mayores estudios en zonas focales. De acuerdo a esto, se realizó un taller en marzo de 2025, para presentación de estos resultados en la Ciudad de Coyhaique. Participaron entidades públicas, privadas y de la sociedad civil, donde se pudo establecer un diálogo sobre la necesidad de una coordinación de actores en el territorio, para apoyar y seguir con el levantamiento de información de estos eventos. El desafío es poder concretar esta coordinación, la cual proporcionará insumos valiosos para la toma de decisiones en las medidas de precaución y gestión territorial. A modo de ejemplo se destacó la necesidad de diferenciar las floraciones algales nocivas para la salud humana.

Nuevos estudios deberían enfocarse en proporcionar información sobre las percepciones y la evolución de los comportamientos frente a estos eventos para conocer las estrategias de adaptación al cambio climático del sector turismo. El Plan Nacional de Emergencia de SENAPRED (2024) entrega información específica sobre medidas de acción según actividad volcánica (Volcán Hudson y Volcán Melimoyu), riesgos de Tsunami y emergencias frente a la exposición de material peligroso. Sin embargo, no considera eventos de tipo biológicos, geológicos o geofísicos como son las remociones en masa, eventos que son recurrentes en la región de Aysén. Por lo tanto, en el marco de la nueva ley Marco de Cambio Climático (Ley 21.455, 2022) sería relevante: 1) Identificar las estrategias dominantes de los actores locales en su uso turístico de los recursos naturales, 2) evaluar las percepciones generales de los actores locales de los eventos extremos que pueden ser relacionados con el cambio climático, 3) identificar las acciones, planes y estrategias de adaptación del sector turismo y 4) monitorear la evolución de las estrategias de adaptación cuando aumente el conocimiento científico sobre el cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Aall, C., & Høyer, K. G. (2005). Tourism and climate change adaptation: the Norwegian case. In Hall & Higham (Eds.) *Tourism, recreation, and climate change*, 209-221.
- Allen, S., Cox, S. & Owens, I. (2011). Rock avalanches and other landslides in the central Southern Alps of New Zealand: a regional study considering possible climate change impacts. *Landslides*, 8(1), 33-48.
- Becken, S. (2013). A review of tourism and climate change as an evolving knowledge domain. *Tourism Management Perspectives*, 6, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2012.11.006>
- Below, R., Wirtz, A., & Guha-Sapir, D. (2009). Disaster category classification and peril terminology for operational purposes. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED) and Munich Reinsurance Company (Munich RE). *CRED, Munich RE: Belgium*. https://www.researchgate.net/publication/299725165_Classification_of_Natural_Disasters
- Borrie, W. T., Gale, T., & Bosak, K. (2020). Privately protected areas in increasingly turbulent social contexts: strategic roles, extent, and governance. *Journal of Sustainable Tourism*, 30(11), 2631–2648. <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1845709>
- Bourdeau P. (2009). Mountain Tourism in a Climate of Change, in R. Jandl, A. Borsdorf, H. van Miegroet, R. Lackner, R. Psenner (Eds.), *Global Change and Sustainable Development in Mountain Regions, Alpine space - man & environment vol.7*, Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 39-52.
- Bourlon, F., Gale, T., Adiego, A., Álvarez-Barra, V., & Salazar, A. (2021). Grounding Sustainable Tourism in Science—A Geographic Approach, in *Sustainability*, 13(13), 7455, <https://doi.org/10.3390/su13137455>
- Bürki, R., Elsasser, H., Abegg, B. & Koenig, U. (2005). *Climate change and tourism in the Swiss Alps* in C. Hall, M & Higham, J. *Tourism, Recreation and Climate Change*. Channelview Press, London. 10, 155-163.
- Camus, P., Arenas, F., Lagos, M., & Romero, A. (2016). Visión histórica de la respuesta a las amenazas naturales en Chile y oportunidades de gestión del riesgo de desastre. *Revista de Geografía Norte Grande*, (64), 9-20. 10.4067/S0718-34022016000200002
- CIEP .(2020). Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia, Ecosystem, climate change and socio-environmental linkages along the continental-ocean continuum. Long-term socio-ecological research in Patagonia (PATSER) ANID R20F0002 Project, Coyhaique.
- Claro, E. (2008). Integrando la adaptación al cambio climático en las políticas de desarrollo: ¿Cómo estamos en Chile? REDESMA [online], 63(2), 63-72.

- CONAF (Corporación Nacional Forestal de Chile). (2018). *Plan de uso público del Parque Nacional Laguna San Rafael*. Coyhaique, Chile
- Dussailant, A., Benito, G., Buytaert, W., Carling, P., Meier, C., & Espinoza, F. (2010). Repeated glacial-lake outburst floods in Patagonia: an increasing hazard? *Natural hazards*, 54(2), 469-481.
- El Desconcierto. (2021). Video: Registro aéreo muestra impacto generado por colapso de glaciar en Tortel. Visitado el 5 de abril 2021. <https://www.eldesconcierto.cl/medio-ambiente-y-naturaleza/2021/02/24/video-aysen-registro-aereo-muestra-impacto-generado-por-colapso-de-glaciar-en-tortel.html>
- El Mostrador. (2018). Exposición sobre Villa Santa Lucía “Después del Desastre” en Espacio A. Visitado el 4 de abril 2021. <https://www.elmostrador.cl/cultura/2018/05/12/exposicion-sobre-villa-santa-lucia-despues-del-desastre-en-espacio-a/>
- Emol.com. (2019). Alcalde de Cochrane dice que Chile "no está preparado" para enfrentar incendios forestales y llama a Piñera a visitar zona", visitado el 5 de abril 2021. <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2019/02/20/938505/Alcalde-Cochrane-dice-que-Chile-no-esta-preparado-para-enfrentar-incendios-forestales-y-llama-a-Pinera-a-visitar-la-zona.htm>
- Espiner, S., Orchiston, C., & Higham, J. (2017). Resilience and sustainability: A complementary relationship? Towards a practical conceptual model for the sustainability–resilience nexus in tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(10), 1385-1400.
- Espiner, S., & Becken, S. (2014). Tourist towns on the edge: Conceptualizing vulnerability and resilience in a protected area tourism system. *Journal of Sustainable Tourism*, 22(4), 646-665.
- Falvey, M., & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D4).
- Gale, T., & Adiego, A. (2018). *Climate change and future perspectives for the tourist industry in Aysén. International Conference: Global change at basin and fjord scale and future water management challenges in Patagonia*. Coyhaique, Chile.
- García, C., Muñoz, E., Adiego, A., & Gale, T. (2017). *Riesgos naturales, resiliencia de turismo y Planificación de Uso Público en las ASPs de Aysén*. X Congreso Nacional de la Sociedad de Investigadores en Turismo de Chile (SOCIETUR): Puerto Varas, Chile.
- Genç, R. (2018). Catastrophe of Environment: The impact of natural disasters on tourism industry. *Journal of Tourism & Adventure*, 1(1), 86-94.

- Glade T. & Alexander D.E. (2013). Classification of Natural Disasters. In: Bobrowsky P.T. (eds) Encyclopedia of Natural Hazards. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_61
- Gobierno de Chile (2019). Plan de Adaptación al Cambio Climático del sector Turismo en Chile, Consejo de Ministro para la Sustentabilidad y Comité de Ministros del Turismo, Santiago de Chile, <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/Plan-de-Adaptacion-al-Cambio-Climatico-del-sector-Turismo-en-Chile.pdf>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, 26(2), 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Ghulam Sarwar Shah, S. & Robinson, I. (2006). User involvement in healthcare technology development and assessment: Structured literature review. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 19(6). 500-515. <https://doi.org/10.1108/09526860610687619>
- Hall, C. M., & Higham, J. (Eds.). (2005). *Tourism, recreation and climate change*. Channel View Publications.
- Hamilton, J. M., Maddison, D. J., & Tol, R. S. (2005). Effects of climate change on international tourism. *Climate research*, 29(3), 245-254.
- Harrison, S., Glasser, N., Winchester, V., Haresign, E., Warren, C., & Jansson, K. (2006). A glacial lake outburst flood associated with recent mountain glacier retreat, Patagonian Andes. *The Holocene*, 16(4), 611-620.
- Huelin, R.; Iheanacho, I.; Payne, K.; Sandman, K. What's in a Name? Systematic and Non-Systematic Literature Reviews and Why the Distinction Matters. *Evid. Forum* 2015, 34–37.
- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
- IPCC-UNEP. (2013). *Climate Change 2013, physical basis. Summary for Policymakers, Technical Summary and Frequently Asked Questions*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), United Nations, UNEP.
- Iribarren, P., Mackintosh, A., & Norton, K. (2015). Reconstruction of a glacial lake outburst flood (GLOF) in the Engaño Valley, Chilean Patagonia: Lessons for GLOF risk management. *Science of the Total Environment*, 527, 1-11.

- Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation science*, 5(1), 1-9.
- Ley 21.364 de 2021. Establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, sustituye la Oficina Nacional de Emergencia por el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, y adecúa normas que indica. 07 de agosto de 2021. D.O. No. 43.022.
- Ley 21.455 de 2022. Ley Marco de Cambio Climático. 13 de junio de 2022. D.O. No. 43.277.
- Light, D. (2017). Tourism and toponymy: commodifying and consuming place names. In *New Research Paradigms in Tourism Geography* (pp. 141-156). Routledge.
- Ma, H., Chiu, Y. H., Tian, X., Zhang, J., & Guo, Q. (2020). Safety or travel: Which is more important? The impact of disaster events on tourism. *Sustainability*, 12(7), 3038.
- MacEachren, A. M., Robinson, A., Hopper, S., Gardner, S., Murray, R., Gahegan, M., & Hetzler, E. (2005). Visualizing geospatial information uncertainty: What we know and what we need to know. *Cartography and Geographic Information Science*, 32(3), 139-160.
- McGrath, T.A.; Alabousi, M.; Skidmore, B.; Korevaar, D.A.; Bossuyt, P.M.M.; Moher, D.; Thombs, B.; McInnes, M.D.F. Recommendations for Reporting of Systematic Reviews and Meta-Analyses of Diagnostic Test Accuracy: A Systematic Review. *Syst. Rev.* 2017, 6, 1–16, doi:10.1186/s13643-017-0590-8.
- Moragues, S. N., Lenzano, M. G., Rivera, S. A., Oberreuter, J. G., & Vich, A. (2021). Characterization and reconstruction of the Agassiz landslide using geospatial data. Southern Patagonia, Argentina. *Andean Geology*, 48(3), 557-576.
- Purdie, H., Hutton, J. H., Stewart, E., & Espiner, S. (2020). Implications of a changing alpine environment for geotourism: A case study from Aoraki/Mount Cook, New Zealand. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 29, 100235.
- Rivera Mateos, M., & Félix Mendoza, Á. G. (2019). Planificación estratégica y gobernanza en la recuperación de destinos turísticos afectados por desastres socio-naturales. Un estado de la cuestión.
- Rojas, M., Aldunce, P., Farías, L., González, H., Marquet, P., Muñoz, J. C., Palma-Behnke, R., Stehr, A. & Vicuña, S. (editores). (2019). *Evidencia científica y cambio climático en Chile. Resumen para tomadores de decisiones*. Santiago, Ministry of Science, Technology, Knowledge and Innovation.
- Rosselló, J., & Santana-Gallego, M., (2014). Recent trends in international tourist climate preferences: a revised picture for climatic change scenarios. *Climate Change*. 124, 119–132. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1086-3>

- Salim, E., Ravanel, L., Bourdeau, P., & Deline, P. (2021). Glacier tourism and climate change: effects, adaptations, and perspectives in the Alps. *Regional Environmental Change*, 21(4), 1-15.
- Sandoval-Díaz, J., Muñoz, M. N., & Martínez, D. C. (2023). Revisión sistemática sobre la capacidad de adaptación y resiliencia comunitaria ante desastres socionaturales en América Latina y el Caribe. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(2), 187-203. 10.55467/reder.v7i2.132
- Scott, D., Gössling, S., & Hall, C. M. (2012). International tourism and climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 3(3), 213-232.
- Servicio Nacional de Prevención y Respuesta Ante Desastres. SENAPRED. (2024). *Plan de Emergencia Regional Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo* | SENAPRED. <https://web.senapred.cl/plan-de-emergencia-regional-aysen-del-gral-carlos-ibanez-del-campo/>
- Shashi, S., Cerchione, R., Singh, R., Centobelli, P., & Shabani, A. (2018). Food cold chain management: From a structured literature review to a conceptual framework and research agenda. *The International Journal of Logistics Management*, 29(3), 792-821. 10.1108/IJLM-01-2017-0007.
- Qian, S., Kang, M., & Weng, M. (2016). Toponym mapping: a case for distribution of ethnic groups and landscape features in Guangdong, China. *Journal of Maps*, 12(sup1), 546–550. <https://doi.org/10.1080/17445647.2016.1201017>
- Rodríguez de Castro, A., Rodríguez Chumillas, I., & Vásquez Hoehne, A. (2017). Métodos y técnicas de análisis toponímico urbano y su aplicación en la ciudad de Toledo. *BAGE. Boletín de la Asociación Española de Geografía*, (75), 101-126. 10.21138/bage.2494.
- United Nations Group of Experts on Geographical Names (UNGEGN) Toponymy Training Manual; United Nations Department of Economic and Social Affairs: New York, USA, 2017.
- Vialette, Y., Mao, P., & Bournon, F. (2021). Scientific Tourism in the French Alps: A Laboratory for Scientific Mediation and Research. *Journal of Alpine Research / Revue de géographie alpine*, (109-2).

ANEXOS

Anexo 1. [Base de datos](#)

Anexo 2. [Listado de 63 publicaciones revisadas sobre eventos extremos en la región de Aysén](#)

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES AL ESTUDIO

- (1) **Fabien Bourlon**: Geógrafo, investigador principal, director del estudio con contribución en puntos 1 a 13.
- (2) **Alexandra Salazar**: Geóloga, contribución en puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12 y 13
- (3) **Francisca Flores**: Geógrafa, contribución en puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 y 12
- (4) **Nicolas Robinet**: Geógrafo, especialista en geomática con contribución en puntos 1, 2, 3, 4, 5, 8 y 11
- (5) **Pascal Mao**: Geógrafo, especialista en gestión territorial, con contribución en puntos 1, 2, 5, 7 y 12
- (6) **Valentina Álvarez**, Ecóloga, Geógrafo, contribución en puntos 1, 2, 4 y 6
- (7) **Romain Lethuaire**, Geógrafo, contribución en puntos 6 y 8

Temáticas de contribuciones individuales de los investigadores :

- 1. Conceptualización
- 2. Metodología
- 3. Uso de Software (SIG)
- 4. Validación de datos
- 5. Análisis formal
- 6. Investigación (recopilación de datos)
- 7. Obtención de Recursos para estudio
- 8. Conservación de datos
- 9. Redacción - Preparación del borrador original
- 10. Redacción - Revisión y edición
- 11. Visualización
- 12. Supervisión
- 13. Administración del proyecto

La autoría del informe incluye y se limita a quienes hayan contribuido sustancialmente al trabajo.