



Remociones en masa en el escenario actual de cambio climático en la precordillera de Chile Central

ISBN: 978-956-7459-60-5

Diciembre 2023

Autores:	Jorge Clavero, Valentina Ramírez
Diseño e ilustración:	Gabriela Anabalón
Revisión idiomática:	Sandra Droguett
Coordinación Técnica AngloAmerican:	Alejandro Tamayo

Proyecto desarrollado por:



CENTRO **UM** | HÉMERA
Observación de la Tierra

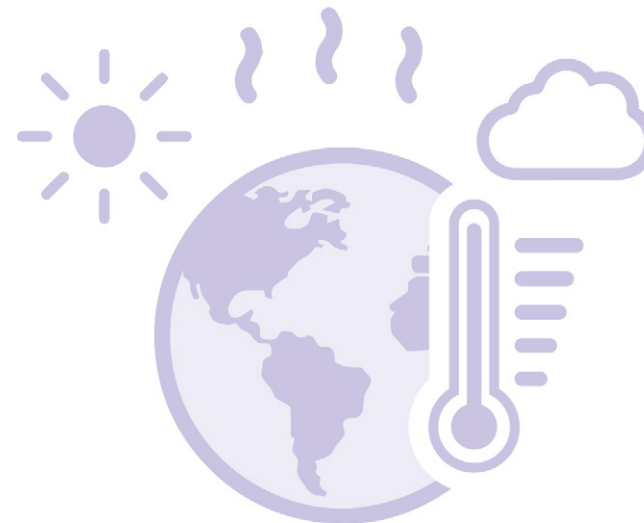


Remociones en masa en el escenario actual de cambio climático en la precordillera de Chile Central

Introducción

El proceso actual de **cambio climático** se entiende como el conjunto de **cambios en el clima global de la Tierra**, atribuidos directa o indirectamente a la **actividad humana** y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo más largos a escala geológica. Los distintos procesos asociados a la actividad humana, en particular desde fines del siglo XIX (Revolución Industrial y el aumento significativo de la población mundial) han ocasionado un incremento en la emisión de gases de efecto invernadero (**GEI**) en la atmósfera, que se relaciona esencialmente con la quema de combustibles fósiles, las actividades industriales como agricultura y transporte, además de la pérdida de vegetación y la deforestación. Entre los principales GEI se encuentran el **dióxido de carbono**, el **óxido nitroso** y el **metano**.

La principal consecuencia del aumento de emisiones de los GEI es el calentamiento global, que corresponde al aumento gradual de la temperatura promedio de la Tierra (atmósfera y océanos). Esto provoca una serie de impactos como la modificación de los patrones de precipitaciones líquidas y sólidas (lluvia y nieve), eventos climáticos extremos más frecuentes e intensos, el alza del nivel medio de los océanos, la reducción de la superficie cubierta por nieve, retrocesos y disminución de la cobertura glaciar, sequías prolongadas, entre otras. Todos estos efectos en el clima conllevan una serie de efectos escalonados tanto en los ecosistemas como en la biodiversidad, los cuales han sido ampliamente estudiados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) desde el año 1988, con el objeto de entender sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuestas.





¿Qué son las remociones en masa y cómo se relacionan con el cambio climático?

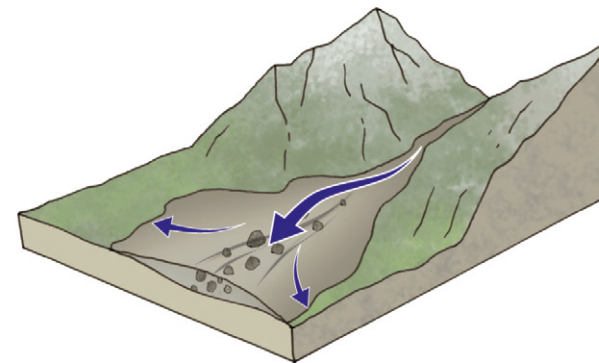
Las **remociones en masa** son fenómenos naturales en los cuales un volumen de material formado por una **mezcla de suelo, tierra, detritos, escombros, vegetación y/o construcciones** se desplaza ladera abajo por la acción de la gravedad.

Como consecuencia del cambio climático, se ha observado en las últimas décadas, tanto en Chile como en el mundo, un **aumento notable en la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación**. Cuando ocurren estos eventos de lluvias intensas el suelo se satura de agua, reduciendo su capacidad de retención e infiltración, lo que aumenta la probabilidad que se originen remociones en masa ricas en agua como **flujos y crecidas de detritos**. Esto puede verse intensificado si se

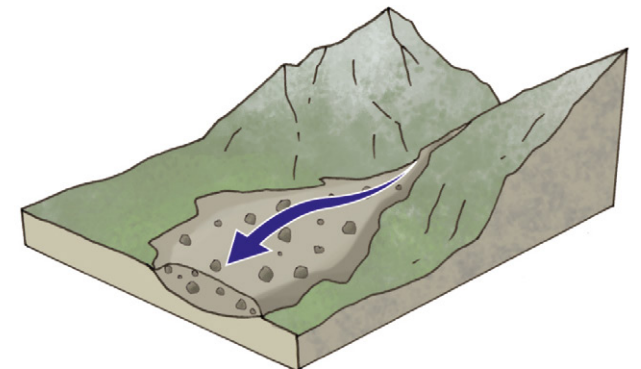
añaden otras condiciones geográficas y características del terreno, como fuertes pendientes o escasez de vegetación, las que aumentan la probabilidad de que la remoción originada se deslice ladera abajo.

En las últimas décadas, la precordillera de Chile Central no ha estado ajena a este aumento en la frecuencia de estos eventos. Podemos mencionar como ejemplos el conocido "aluvión" de la quebrada de Macul en el año 1993, también los eventos asociados a sistemas frontales en los meses de verano los años 2017 y 2021 en el Cajón del Maipo y, más recientemente, una serie de flujos y crecidas de detritos como consecuencia de las intensas lluvias en junio y agosto de 2023.

Crecida de detritos



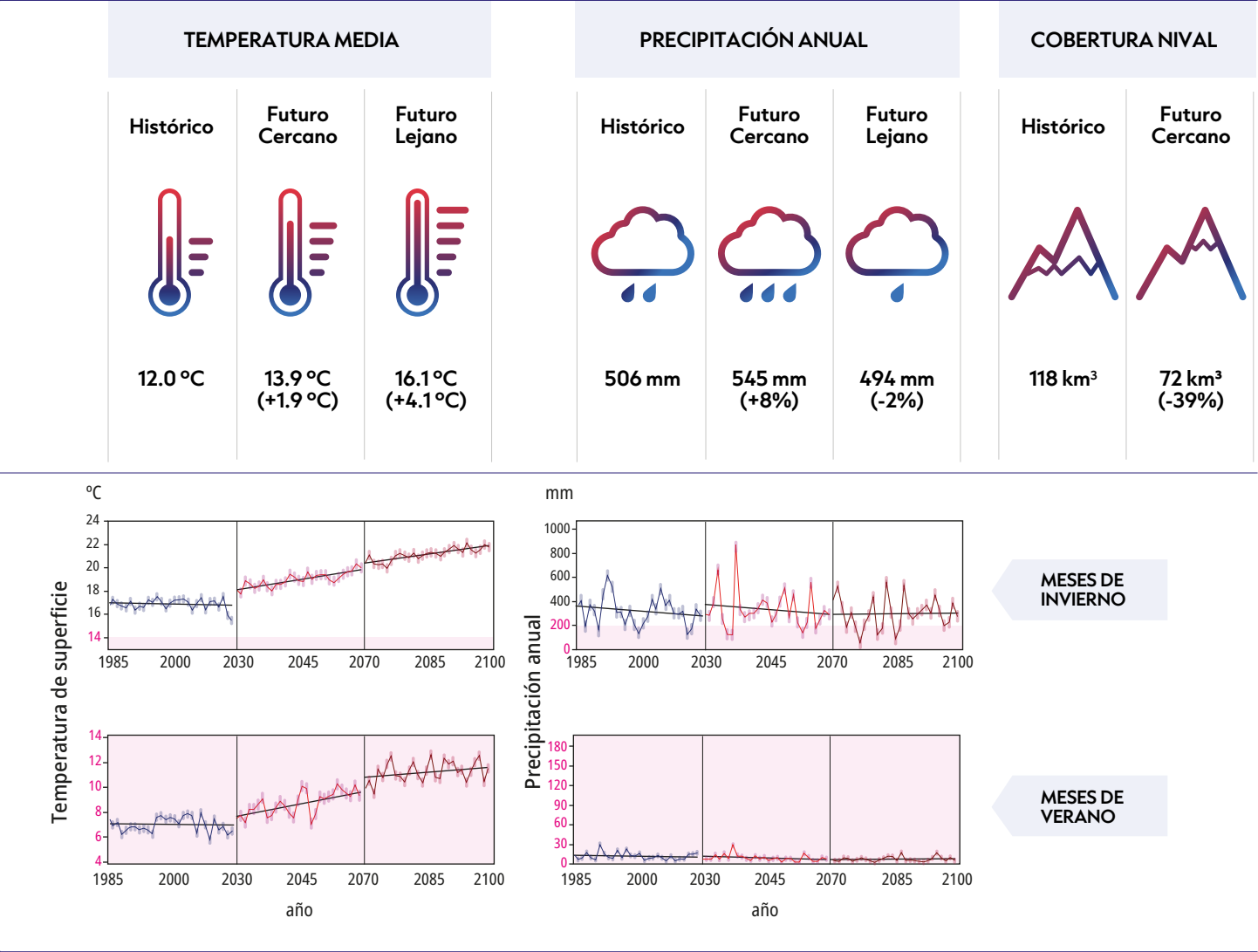
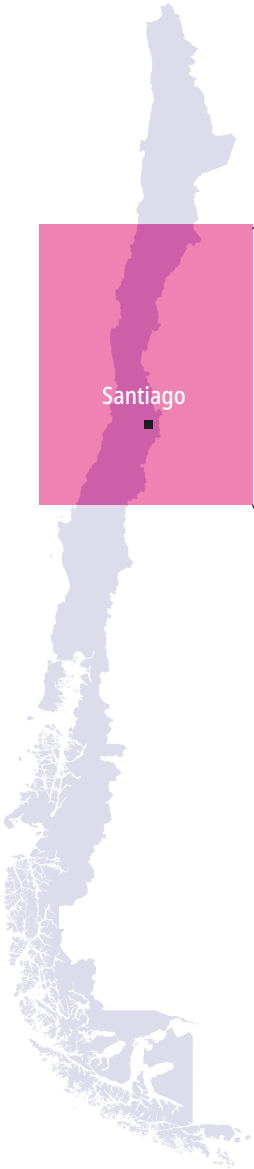
Flujos de detritos



Proyección climática para Chile Central

La gran variación climática que se ha observado en el planeta en las últimas décadas ha potenciado la generación de **modelos climáticos que cada vez son más complejos y de mejor resolución espacial**. En este folleto se utiliza una modelación de resolución variable implementada a través del Modelo del Sistema Terrestre de la Comunidad (CESM, por sus siglas en inglés; Danabasoglu et al., 2020), el cual ha demostrado tener un buen desempeño al representar el clima en regiones de latitudes medias y la ocurrencia de eventos extremos. Se utilizó esta modelación para el **Periodo Histórico (1985-2014), Futuro Cercano (2030-2059) y Futuro Lejano (2070-2099)** considerando para ambos periodos futuros un escenario conservador de emisiones de GEI, correspondiente al RCP 8.5 (ver glosario), que incluye precipitaciones y temperaturas mínimas y máximas para cada periodo.

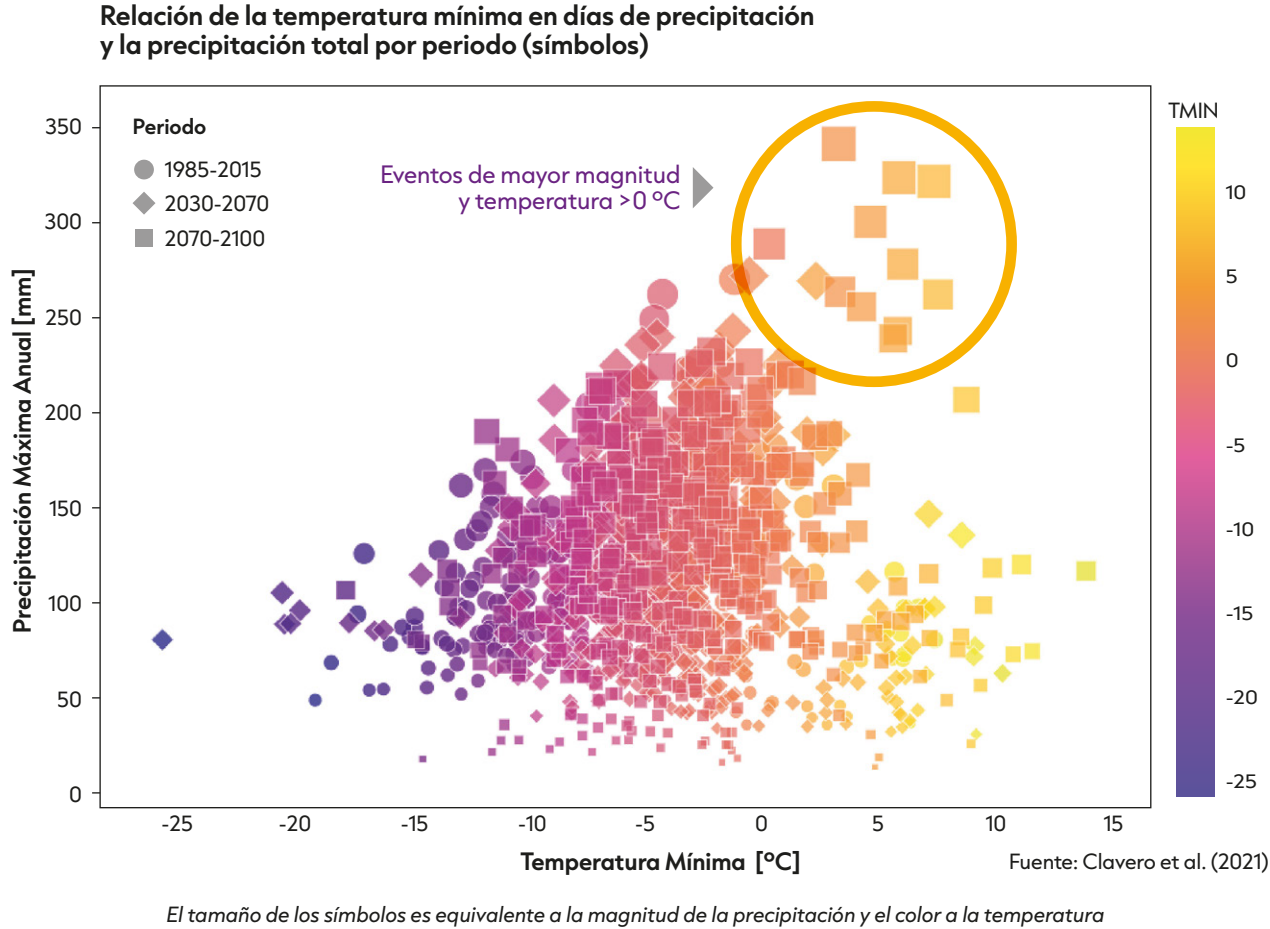
La proyección climática en Chile Central, específicamente, para la zona precordillerana, presenta un **aumento significativo de la temperatura de 4 °C** hacia fines de siglo, tanto para los meses de verano como para los meses de invierno, y una **disminución moderada de la precipitación** anual acumulada. Se observa un marcado aumento en la variabilidad del clima, asociado a un **aumento en la frecuencia de períodos secos** o de sequías interrumpidas por **eventos lluviosos intensos**, pero de corta duración.



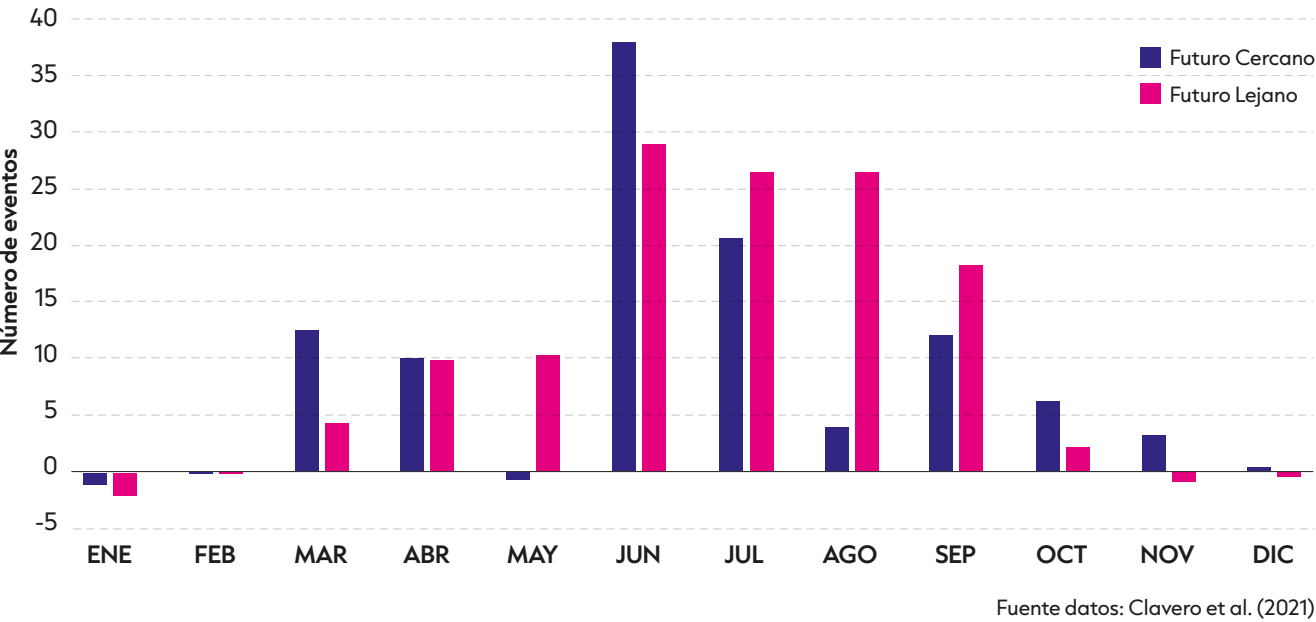
Fuente: Bambach et al. (2021)

Al relacionar en un gráfico de dispersión la magnitud de la precipitación diaria máxima en un año con la temperatura promedio del día de ese evento, se puede observar que en el futuro **ocurrirán más eventos de mayor magnitud con precipitaciones y temperaturas sobre los 0 °C (isoterma alta)**. Lo anterior quiere decir que habrá un aumento de los eventos de precipitación extrema en la zona precordillerana-cordillerana con isoterma 0 °C alta, lo que conllevará a su vez a un incremento en el escurrimiento de agua superficial en zonas de fuertes pendientes y relieve abrupto y, por lo

tanto, se proyecta un aumento en la generación de remociones en masa ricas en agua. Esta proyección, para finales de siglo, anuncia una mayor ocurrencia de eventos de mayor magnitud de precipitación (símbolos más grandes) y con temperaturas aún más altas. La magnitud de precipitación para estos eventos futuros no se observa en los datos del Período Histórico (1985-2015), lo que implicaría la ocurrencia de eventos de grandes magnitudes que no han ocurrido en el pasado reciente (sí en el registro geológico más lejano).



Comparación mensual de eventos de precipitación proyectados respecto al Periodo Histórico



Al comparar los eventos de precipitación sobre 20 mm con temperaturas sobre los 0 °C desagregados por mes y proyectados para zonas precordilleranas en los tres escenarios, se observa que para el periodo Futuro Cercano aumentarían las precipitaciones cálidas (isoterma 0 °C alta) hasta en un 38% mensual para la mayoría de los meses del año a excepción de enero, febrero y mayo. En tanto que, para el periodo Futuro Lejano, el aumento es de hasta un 28% mensual, también para casi todos los meses del año salvo para los de verano (noviembre a febrero). Lo anterior indica claramente que para los próximos años y décadas se proyectan **más eventos de precipitaciones intensas en otoño, invierno y primavera con temperaturas altas**, es decir justamente aquellos eventos hidrometeorológicos que comúnmente gatillan remociones en masa.

Efectos del cambio climático sobre factores condicionantes y gatillantes de remociones en masa

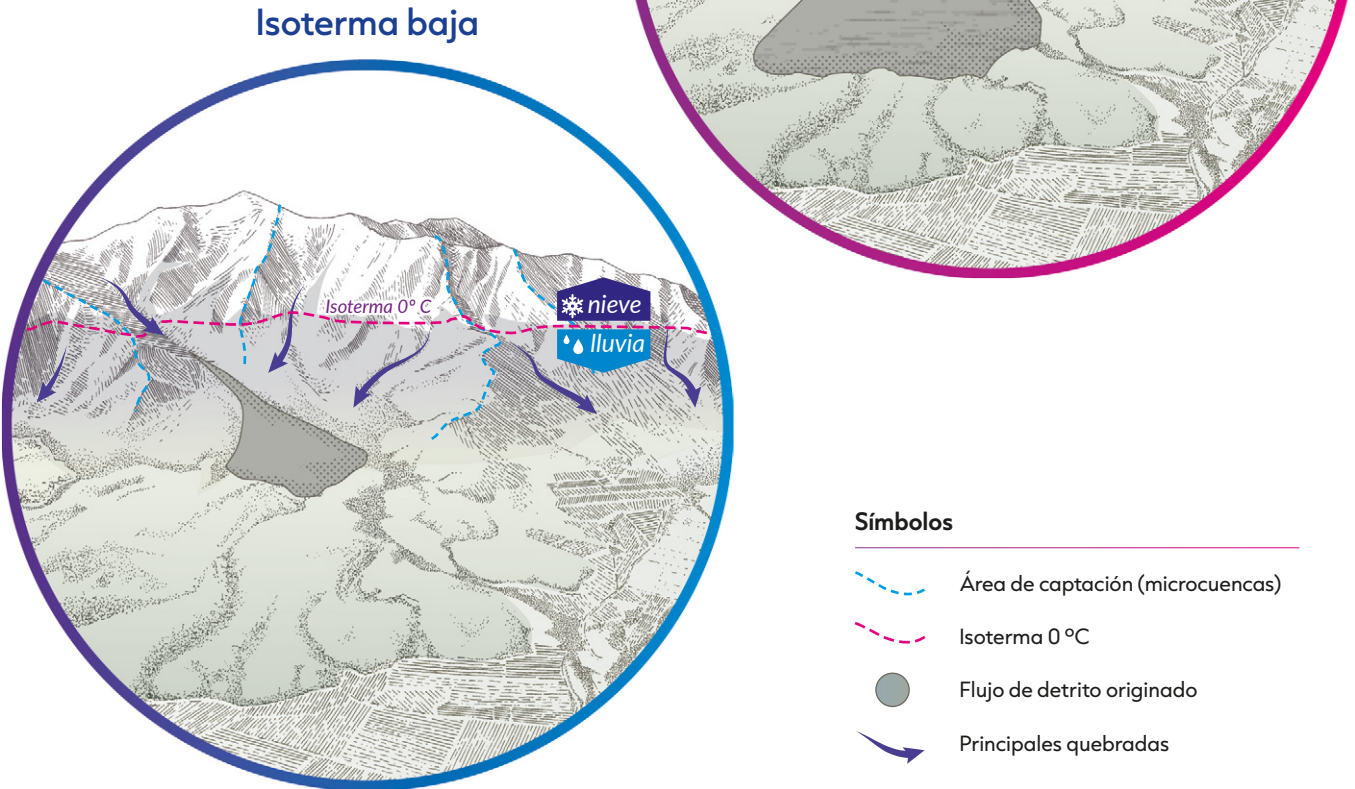
Los factores condicionantes de una remoción en masa son aquellos de origen natural o antrópico (actividad humana) que favorecen la inestabilidad del terreno en sectores específicos y los factores gatillantes son aquellos que finalmente, desencadenan una remoción en masa. Entre los factores gatillantes más comunes están las lluvias intensas, los sismos y las erupciones volcánicas.

El cambio climático también puede influir en las condiciones que favorecen el desarrollo de remociones en masa como, por ejemplo:

- Los eventos de **precipitaciones intensas**, en especial en cortos períodos de tiempo, gatillan la ocurrencia de remociones en masa, al aumentar la saturación del suelo y disminuir su resistencia.
- Eventos de lluvias intensas con temperaturas cálidas (**isoterma 0 °C elevada**), provocan que en zonas donde normalmente cae nieve, ahora precipite de forma líquida, lo que aumenta el escurrimiento de agua superficial y genera flujos o crecidas de detritos de mayor volumen.
- El **deshielo acelerado y/o el retroceso glaciar** debido al incremento de la temperatura global también favorecen la generación de avalanchas, flujos repentinos glaciares (GLOF) o flujos de detritos, asociados a diques o lagos glaciares que se puedan romper o colapsar.
- Los efectos de la **desertificación y deforestación** disminuyen la cobertura vegetal que le otorga resistencia al suelo y aumenta el material suelto disponible para ser removilizado por el agua y formar flujos o crecidas de detritos.

- Los **incendios forestales** también favorecen la ocurrencia de deslizamientos y escurrimiento del agua durante eventos de lluvias torrenciales, ya que genera una capa impermeable bajo la superficie quemada que disminuye la infiltración y absorción del agua lluvia.
- El cambio climático también puede alterar los **patrones de vegetación** en diferentes regiones, pudiendo modificar o cambiar la distribución de bosques, lo que afecta la calidad de las raíces para estabilizar el suelo y aumentar la probabilidad de remociones en masa.
- La **degradación del suelo** asociado a la erosión hídrica o eólica atribuida al cambio climático puede generar la pérdida de la capa superficial del suelo, que reduce la capacidad de retención de agua, aumentando la erosión y la susceptibilidad del terreno a deslizamientos.

Los cambios que se proyectan en el clima global y sus efectos en los factores condicionantes y gatillantes de remociones en masa, es esperable que aumente la frecuencia de estos fenómenos peligrosos en el Futuro Cercano (ver figura página 7) y que los volúmenes de los flujos que se generen sean mayores, en especial cuando se formen por lluvias cálidas (isoterma 0°C alta) como se observa en las figuras.



¿Cómo debemos prepararnos?

Como vimos anteriormente, se proyecta que en el futuro los eventos de precipitación extrema en cortos períodos de tiempo serán cada vez más recurrentes, intensos y con temperaturas más cálidas (isoterma 0 °C elevada), lo que favorecerá considerablemente la generación de remociones en masa en Chile Central, especialmente en ambientes cordilleranos y precordilleranos, por lo que debemos estar preparados.

Algunos consejos para prepararnos ante este tipo de eventos:

- **Conocer y familiarizarnos** con las áreas propensas a remociones en masa en nuestra comuna y región.
- **Identificar** qué tipo de remociones en masa son las más comunes donde habitamos o donde vamos de excursión o vacaciones, y qué factores los desencadenan.
- Revisar el **pronóstico del tiempo** si se va de excursión a la precordillera o cordillera.
- Estar atentos a los **sistemas de monitoreo y alerta temprana** determinados e informados por el Servicio Nacional de Prevención de Respuestas ante Desastres (SENAPRED).
- **Estar atentos** a la información de las autoridades locales respecto de alertas o sectores riesgosos frente a remociones en masa.
- **Conversar** con tus profesores, familia y amigos sobre estos fenómenos y discutir sobre la **preparación** que deben tener como grupo familiar, educativo o comunal frente a estos eventos.

- Averiguar qué ha pasado en tu comuna o región en el pasado. Dónde han ocurrido estos fenómenos, qué sectores han sido afectados, qué medidas se han tomado (o no). **Solo el conocimiento hará que la comunidad pueda estar realmente preparada para enfrentar los efectos de este tipo de fenómenos naturales.**
- **Recuerda:** los desastres naturales NO existen, solo existen los fenómenos naturales con consecuencias desastrosas debido a la mala o nula planificación y prevención.

Es importante tener en cuenta que la preparación y mitigación de remociones en masa no elimina los riesgos, pero puede reducir su impacto en la sociedad.



SENAPRED

ESTADOS DE ALERTAS

ALERTA TEMPRANA PREVENTIVA



Estado de reforzamiento de las condiciones de vigilancia y atención. Constituye un estado de anticipación a posibles situaciones de emergencia, e implica el monitoreo de las condiciones de riesgo advertidas.

ALERTA AMARILLA



Se establece cuando una amenaza crece en extensión y severidad, lo que supone que no podrá ser controlada con los recursos locales habituales, debiendo alistarse los recursos necesarios para intervenir, de acuerdo a la evolución del evento.

ALERTA ROJA



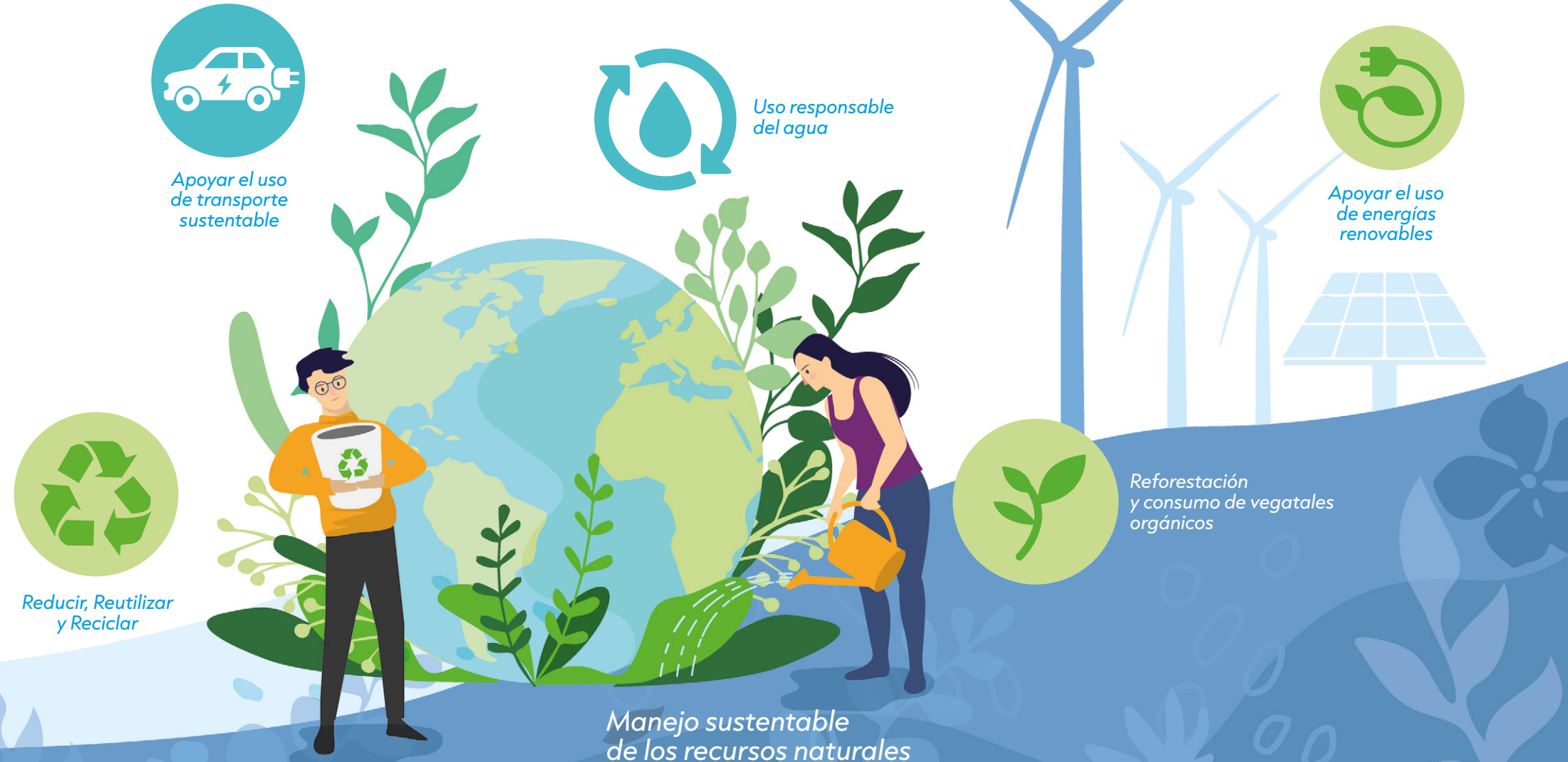
Se establece cuando una amenaza crece en extensión y severidad, requiriendo la movilización de todos los recursos necesarios y disponibles para la atención y control del evento.

Fuente: SENAPRED (<https://senapred.cl/alertas-2/>)

¿Cómo podemos contribuir para disminuir los efectos del cambio climático?

- Reducir nuestra huella de carbono disminuyendo el consumo de combustibles fósiles, reciclando y reutilizando, privilegiando las energías renovables.
- Priorizar, en la medida de lo posible, las formas de transporte menos contaminantes como desplazarse a pie, bicicleta o transporte público.
- Ahorrar energía en el hogar. Apagar electrodomésticos y luces cuando no se estén utilizando y aprovechar al máximo la luz natural.
- Promover la protección y el manejo sustentable de los recursos naturales.
- Plantar árboles, reducir el consumo de agua y evitar su desperdicio.
- Comprar y consumir responsablemente, en especial ropa y tecnología.
- Comer más verduras y optar por alimentos orgánicos de origen local. Reducir el consumo de carnes y lácteos.
- Apoyar el uso de energías alternativas renovables.
- Aplicar las 3R: Reducir, Reutilizar y Reciclar.
- Educar, difundir y sensibilizar. Compartir información sobre el cambio climático y sus impactos con amigos, familiares y comunidades. Difundir la importancia de tomar medidas en nuestro entorno directo para disminuir el avance del cambio climático.

El cambio climático es un desafío global que requiere el compromiso, la participación y la colaboración de todos. Cada acción que podamos emprender, por pequeña que sea, aporta hacia el objetivo de intentar desacelerar el aumento global de temperatura del planeta con todas las consecuencias que ello conlleva. Podemos hacer la diferencia, aún es tiempo de ralentizar o disminuir los efectos del cambio climático



Gases de efecto invernadero (GEI)

Los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural o antropógeno (generados por actividad humana), que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la atmósfera y por las nubes. Los principales gases GEI son el vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄), el ozono (O₃) y los halocarbonos.¹

Flujo de detritos

Flujo muy rápido formado por mezcla de agua y fragmentos de roca (detritos) que se desplaza aguas abajo confinado a lo largo de un canal o quebrada de pendiente pronunciada. Puede ser altamente destructivo por la velocidad y por el gran tamaño de bloques que puede transportar.

Crecidas de detritos

Flujo muy rápido formado por fragmentos de roca (detritos) y abundante agua que se desplaza a lo largo de un canal empinado. Son menos destructivos que los flujos de detritos, siendo más parecidos a una inundación, cuando contienen mucho material fino se les conoce como flujo de barro.

Modelo climático

Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima pasado y futuro, así como también para fines operativos y de predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales.

Proyección climática

Respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a una proyección futura del desarrollo socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse.

Forzamiento radiativo

Se conoce como forzamiento radiativo al cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra, expresado en W/m² y medido en el borde superior de la tropósfera (aprox. 12.000 m sobre el nivel del mar, dependiendo de la latitud) como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera (GEI y otros) y/o de cambios en el aporte externo de energía solar. Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento.

Huella de carbono

Comprende la totalidad de las emisiones de gases de efecto invernadero requeridas para generar un bien, un servicio o una actividad. Se mide en kilogramos o toneladas de CO₂.

Isoterma 0 °C

Concepto referido a una línea horizontal imaginaria que denota la altitud en la cual se encuentra en un momento dado una temperatura de 0 °C durante un evento de precipitación, sobre ella precipita de forma sólida (nieve) y bajo ella precipita de forma líquida (lluvia).

CESM

Modelo del Sistema Terrestre de la Comunidad (CESM, por sus siglas en inglés) de cambio climático ampliamente utilizado y respaldado por la comunidad científica, desarrollado en conjunto por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica, EE.UU (NCAR por sus siglas en inglés) y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE). Incluye la representación de cada uno de los componentes principales del sistema terrestre como la atmósfera, la superficie terrestre, los hielos continentales, el océano, la escorrentía de los ríos y el hielo marino. Combina el pronóstico de los procesos en la atmósfera y la superficie terrestre, además utiliza las temperaturas prescritas de la superficie del océano y la extensión del hielo marino en lugar de modelos dinámicos de hielo y océano.

RCP 8.5

Corresponde al Escenario de Concentración Representativa para una serie de gases de efecto invernadero, aerosoles y gases químicamente activos. Representa el “peor escenario” asociado a una vía de emisiones y concentraciones relativamente altas (peor escenario al año 2020). Sus principales supuestos incluyen alto crecimiento poblacional, relativamente bajo crecimiento del PIB con tasas modestas o bajas de cambios tecnológicos y de eficiencia energética.

Datos Periodo Histórico (este modelo)

Datos meteorológicos diarios de precipitaciones y temperaturas mínimas y máximas modelados para el período comprendido entre el 1 de enero de 1985 hasta el 31 de diciembre de 2014 (1985-2014, 30 años).

Datos Futuro Cercano (este modelo)

Incluye datos diarios de precipitaciones y temperaturas mínimas y máximas modelados para el período comprendido entre el 1 de enero del año 2030 hasta el 31 de diciembre de 2059 (2030-2059, 30 años).

Datos Futuro Lejano (este modelo)

Incluye datos diarios de precipitaciones y temperaturas mínimas y máximas modelados para el período comprendido entre el 1 de enero del año 2070 hasta el 30 de diciembre del año 2099 (2070-2099, 30 años).

¹ Fuente: Centro UC Cambio Global (<https://cambioglobal.uc.cl/>)



¿Necesitas más información?



En los siguientes vínculos podrás revisar y descargar material educativo y científico sobre el cambio climático y su efecto.
Estar informado es estar preparado.

- Datos sobre la acción climática y su relación con la economía, los problemas sociales, la naturaleza y más. Naciones Unidas (<https://www.un.org/es/climatechange/science/key-findings#temperature-rise>)
- Centro UC Cambio Global, Pontificia Universidad Católica de Chile. (<https://cambioglobal.uc.cl/>)
- SNI Chile. Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero. Ministerio del Medio Ambiente, Chile (<https://snichile.mma.gob.cl/>)
- Huella Chile, Programa de Gestión del Carbono, Estado de Chile. (<https://huellachile.mma.gob.cl/>)
- Deslizamiento- Infórmate y prepárate SENAPRED, Servicio Nacional de Prevención y respuesta ante Desastres, Chile. (<https://senapred.cl/aluviones/>)
- Explorador de Amenazas Climáticas, RCLIM. Ministerio del Medio Ambiente, Chile (<https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/>)
- Principales proyecciones climáticas para Chile. Ministerio del Medio Ambiente, ChileVisor Mapa (<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/proyecciones-climaticas/>)
- 10 acciones para contribuir a limitar el cambio climático de acuerdo con Naciones Unidas (<https://www.un.org/es/actnow/ten-actions>)
- Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) <https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

Referencias

- Bambach, N. E., Rhoades, A. M., Hatchett, A., Ullrich, P. A., and Zarzycki, C. M. 2021. *Projecting climate change in South America using variable-resolution CESM: an application to Chile*. International Journal of Climatology, 42 (4), 2514-2542.
- Clavero, J., Droguett, B., Bambach, N., Pérez-Martínez, W., Aguirre, I., Ramírez, V., Vidal-Paéz, P., Briceño-Urbaneja, I., Tamayo, A. 2021. *Remociones en masa asociadas a lluvias intensas (rainfall-induced) en escenario de cambio climático en la cuenca de estero Yerba Loca, Chile Central*. En R. Ascanio., F. Orrego., Ginocchio, R., L. de la Fuente (Ed.), Ecosistemas de montaña de la cuenca Alta del Río Mapocho (82-111).
- Danabasoglu, G., Lamarque, J., Bacmeister, J., Bailey, D., DuVivier, A., Edwards, J., et al. 2022. *The Community Earth System Model Version 2 (CESM2)*. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 12, e2019MS001916.





Material educativo preparado por la Gerencia de Biodiversidad y Cambio Climático - Vicepresidencia de Asuntos Corporativos y Sustentabilidad de AngloAmerican, como parte de su compromiso por aportar al conocimiento de la cordillera andina y de la preparación de la población frente a fenómenos naturales peligrosos.

ISBN: 978-956-7459-60-5

