



ATLAS DE RIESGOS CLIMÁTICOS

Marco Metodológico ARClím

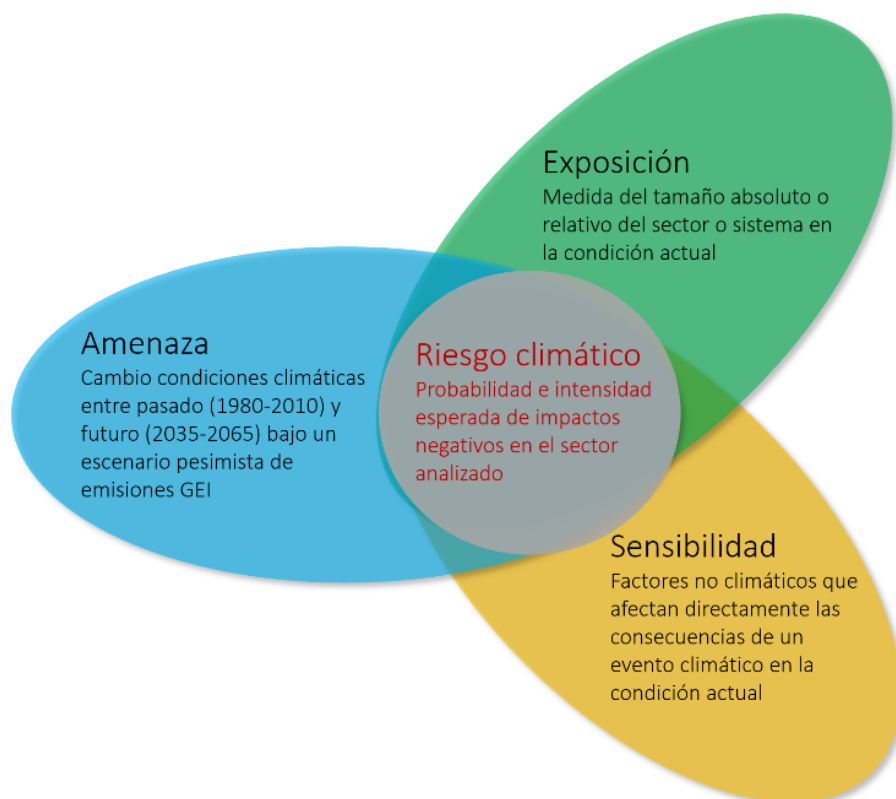
Octubre 2020



Introducción

El objetivo general de ARClím es desarrollar un conjunto de mapas de riesgos relacionados con el cambio climático para Chile empleando un marco conceptual común y una base de datos consistente. ARClím incluye diversos sectores con cobertura nacional y detalle comunal o puntual, convirtiéndose así en una herramienta importante para el diseño de políticas públicas y la implementación de medidas de adaptación.

El proyecto ha sido elaborado siguiendo la guía del Quinto Reporte (AR5) del grupo de trabajo II del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (WGII-IPCC). La evaluación del riesgo al cambio climático se realiza en forma individual para sectores sociales, ambientales y productivos. El riesgo climático es un indicador de la magnitud del daño que podría experimentar frente a un cambio en las condiciones climáticas. La estimación del **riesgo** para un sector requiere conocer su **exposición**, **sensibilidad** y el cambio en el elemento climático al cual puede reaccionar, al que denominaremos **amenaza** (ver figura). La exposición y amenaza son evaluadas en la condición actual. La amenaza considera el cambio del clima entre el pasado reciente (1980-2010) y el futuro mediano (2035-2065) bajo un escenario pesimista de emisiones de gases con efecto invernadero (RCP8.5).



5

Marco Metodológico de ARClím

A continuación se describen los aspectos metodológicos empleados en el proyecto Atlas de Riesgos Climáticos (ARClím), los que dan soporte a la información y datos espacialmente explícitos que se presentan en la plataforma web de este proyecto. Es conveniente recordar que este proyecto es motivado por la necesidad de contar con una plataforma integrada y dinámica, que reúna información para evaluar –con cobertura nacional y resolución comunal- el riesgo frente al cambio climático de acuerdo a las proyecciones climáticas futuras. Finalmente, se espera que la información contenida en la plataforma sea actualizada y refinada en forma periódica, con la finalidad de contar con una herramienta que sea útil para el diseño de políticas e implementación de medidas de adaptación.

1. Riesgos del cambio climático

El proyecto ha sido elaborado siguiendo la guía del Quinto Reporte (AR5) del grupo de trabajo II del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (WGII-IPCC), el cual emplea el concepto de **Riesgos de Impactos del Cambio Climático (IPCC 2014)**. Este elemento fundamental, originalmente empleado por las comunidades en torno a la reducción de riesgo frente a desastres, es diferente al empleado previamente por el WGII-IPCC (en especial en el AR4) que se focalizaba en el concepto de vulnerabilidad climática. Este cambio de paradigma ha generado confusiones entre los investigadores y profesionales trabajando en este tema. Una excelente discusión sobre las diferencias metodológicas entre ambos conceptos (riesgo versus vulnerabilidad) se presenta en **GIZ-EURAC 2017 (Figura 1)**.

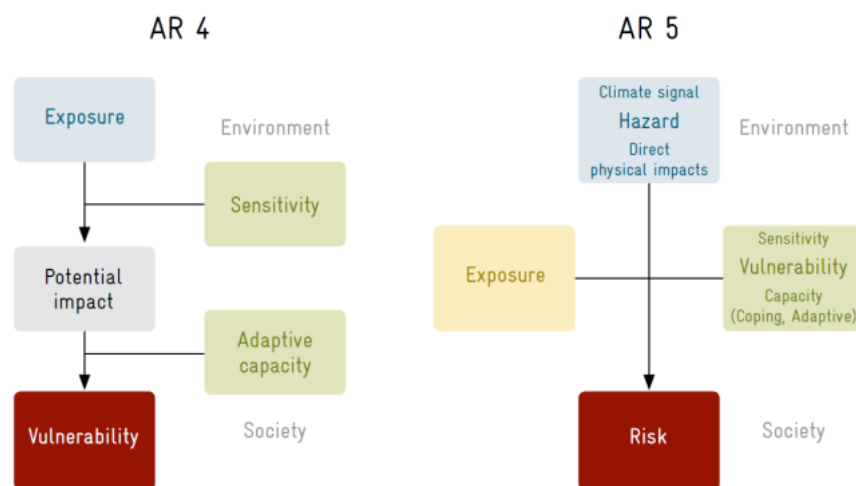


Figura 1 Elementos que definen el riesgo climático (AR5) y diferencias con el antiguo concepto de Vulnerabilidad climática. Tomado de GIZ EURAC 2017.

La **evaluación del riesgo al cambio climático se realiza en forma individual** para sistemas ambientales como, por ejemplo, bosques nativos o humedales, productivos como turismo o minería o grupos humanos, cómo es la población viviendo bajo cierta cota de inundación. En forma genérica llamaremos “sectores” a los elementos anteriores. Definido

un sector, el riesgo climático es un indicador de la magnitud del daño que podría experimentar frente a un cambio en las condiciones climáticas. En consecuencia, la estimación del riesgo (R) para un sector a nivel nacional requiere conocer tres elementos básicos: su exposición (E), su vulnerabilidad (V) y el cambio en el elemento climático al cual puede reaccionar, al que denominaremos amenaza (A). La vulnerabilidad en tanto esta determinada por la sensibilidad (S) y la capacidad adaptativa (CA). En términos generales, $R = f(E, V, A)$, donde f es una función definida en forma ad-hoc para cada sector o sub-sector (Figura 1). Una posible expresión para la función f es emplear el producto de los tres elementos ($R = E \times A \times V$), que asegura que el riesgo es cero si cualquiera de los elementos básicos es nulo y que R aumenta conforme cualquiera de los elementos básicos lo hace.

Más adelante haremos explícito los conceptos A, E y V, pero como una manera de ilustrar como ellos se conjugan para determinar el riesgo, consideremos un caso muy simple en que estos elementos varían en una sola dimensión espacial, por ejemplo, a lo largo de una línea norte-sur que cubre el país. En estos ejemplos suponemos que no existe capacidad adaptativa de manera que la sensibilidad es el único elemento que determina la vulnerabilidad ($V=S$). El panel izquierdo de la figura 2 muestra el caso en que la sensibilidad es uniforme a lo largo de todo el país, la exposición es máxima en la zona norte y la amenaza climática es máxima en la zona central. En ese caso el riesgo se maximiza en la zona centro-norte, a medio camino entre el máximo de E y A. En el panel derecho de la figura 2 consideramos perfiles similares de E y A como en el caso anterior, pero hemos supuesto que la sensibilidad es máxima en la zona norte, aumentando entonces el riesgo en esa zona comparación con el caso anterior.

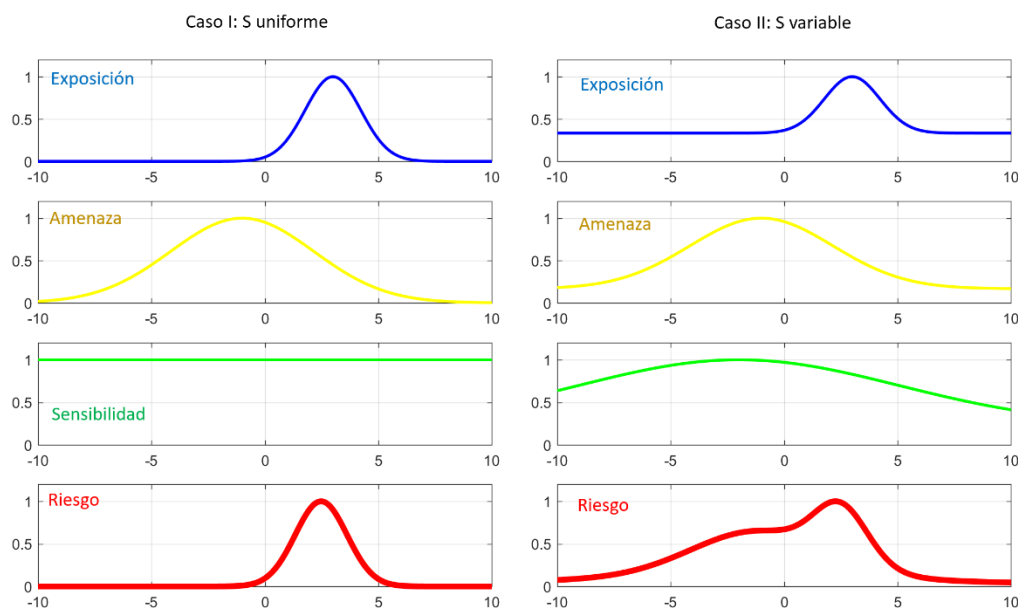


Figura 2 Ejemplos del perfil del riesgo ($R=E \cdot A \cdot S$) a lo largo de un eje longitudinal, con un caso con sensibilidad uniforme (panel izquierdo) y variable (panel derecho).

2. Ingredientes del riesgo climático

Los elementos básicos que deben evaluarse para estimar el riesgo climático son la exposición, vulnerabilidad y amenaza, cuyas definiciones se presentan a continuación (tomadas de GIZ Eurac 2017 & IPCC2014):

- **Exposición:** La presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales, en lugares que podrían verse afectados negativamente.
- **Sensibilidad:** La sensibilidad es determinada por todos los factores no climáticos que afectan directamente las consecuencias de un evento climático. Lo anterior incluye atributos físicos (como por ejemplo el material de construcción de las viviendas, el tipo de suelo agrícola), sociales, económicos y culturales (como la estructura demográfica) del sector o sub-sector
- **Capacidad adaptativa:** la capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sectores para enfrentar, gestionar y superar condiciones adversas en el corto y mediano plazo, utilizando las habilidades, valores, creencias, recursos y oportunidades disponibles.
- **Vulnerabilidad:** La propensión o predisposición a verse afectado negativamente. La vulnerabilidad se compone de una variedad de conceptos y elementos, entre ellos la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para responder y adaptarse.
- **Amenaza:** Corresponde a una condición climática cuya potencial ocurrencia de que puede resultar en pérdidas de vidas, accidentes y otros impactos en salud, como también en pérdidas de propiedad, infraestructura, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos medio ambientales.
- **Riesgo climático** es la probabilidad e intensidad esperada de impactos negativos sobre un territorio, los sistemas sociales y comunidades humanas que lo habitan, que resulta de sucesos o tendencias de naturaleza climática.

En general los impactos del cambio climático son adversos para los sectores en cuestión pero hemos detectado algunas situaciones en que el nuevo contexto climático puede producir impactos positivos, como mejorar las condiciones de crecimiento de cierto tipo de frutales o disminuir las pérdidas de vidas humanas por heladas. En este caso el riesgo resulta negativo y en este proyecto lo llamaremos "beneficios". Aún no está decidido la forma de representar el beneficio en la plataforma de visualización.

3. Cadenas de Impacto

Las definiciones anteriores son estándar y parecen elementos estancos; estimar cada uno de esos elementos no asegura obtener una representación adecuada de los riesgos al cambio climático. Siguiendo las recomendaciones metodológicas de GIZ 2017, este proyecto ha hecho uso intensivo de las "cadenas de impacto", que representan un hilo conductor al unir los diferentes elementos básicos, y terminando en la representación del riesgo.

Las cadenas de impacto empleadas en la presente versión de ARClím se presentan al final de esta texto y fueron construidas siguiendo el siguiente esquema (ver también Figura 3):

- i. Los sectores (naturales, humanos o productivos) que hemos considerado son complejos y en algunos casos, susceptibles de ser desagregados en subsistemas. Por ejemplo, el sector forestal se dividió en bosque nativo y plantaciones forestales. Los asentamientos humanos se dividieron en zonas urbanas y población rural. En general, se conoce adecuadamente la exposición de estos subsistemas en la condición actual.
- ii. Para cada sector o subsistema se identificaron y explicitaron los diversos impactos adversos que una perturbación en el clima podría producir. Por ejemplo, la población humana podría experimentar problemas de morbilidad y mortalidad. Un bosque podría experimentar mayores incendios o disminuir su crecimiento. Esta identificación de impactos es realizada por los expertos en cada sector, incluyendo consultas entre organismos técnicos y operativos.
- iii. En forma paralela al punto anterior, para cada combinación de sector e impacto es necesario identificar la amenaza climática específica, es decir, los elementos del clima cuyo cambio puede resultar en la concreción del impacto. En algunos casos la amenaza es producto de un solo elemento, como la disminución de la precipitación, y en otros casos es combinado (por ejemplo, en agricultura influye tanto los cambios de precipitación como de temperatura).

Reconociendo que un sector puede sufrir diversos impactos asociados a distintas amenazas, se han privilegiado las cadenas más relevantes (impactos sustanciales) que sean posibles de evaluar. La evaluación requiere disponer de una relación cuantitativa o semi cuantitativa que vincule el cambio de los factores climáticos con el nivel de impacto esperado. Este eslabón es precisamente la sensibilidad (de un sector o sub-sector a una amenaza) y uno de los aspectos más difíciles de evaluar. En algunos casos se recurrió a la experiencia empírica y cuantitativa en base a estudios en Chile o el extranjero y en otros, a una relación más cualitativa en base a entrevistas a expertos y metálogos.

Otro elemento que se consideró para discernir la viabilidad de una cadena de impacto es la disponibilidad y robustez de la información climática para cuantificar la amenaza. En base a los modelos numéricos del clima, los cambios en el futuro de los valores medios de precipitación y temperatura son bien representados, pero los cambios de los valores extremos son menos confiables y los cambios en ciertas variables ambientales, por ejemplo, oxígeno disuelto en el océano cerca de la costa, son pobremente conocidos.

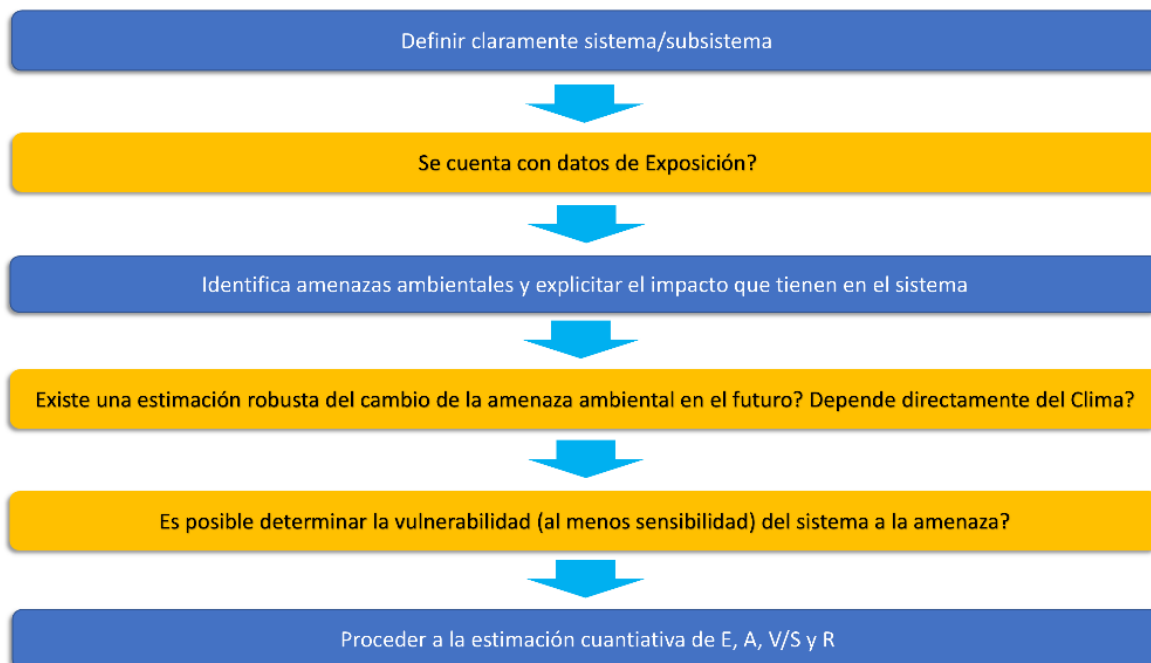


Figura 0 Pasos claves para la construcción de una cadena de impacto viable.

Los cuadros en amarillo son preguntas claves que deben ser respondidos afirmativamente para poder continuar a la etapa siguiente (cuadros azules)

4. Consideraciones respecto a la Amenaza

ARClím pretende evaluar el riesgo en diversos sectores frente al cambio climático. Específicamente, aquí se considera la diferencia entre el clima del futuro intermedio (condiciones medias en las décadas centradas en el año 2050) y el clima histórico reciente (1980-2010). El clima futuro supone el escenario de emisiones RCP8.5, en el cual la humanidad no ha implementado medidas de mitigación importantes de las emisiones y las concentraciones de CO₂ se han incrementado de manera significativa (unas 750 ppm al 2050 contra las 400 ppm actuales).

Las condiciones del clima histórico y futuro son obtenidas considerando el promedio de entre 20 y 30 simulaciones en base a modelos numéricos de la atmósfera (ver detalles en el Explorador de Amenazas Climáticas: <https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/>). Los resultados de los modelos fueron, además, escalados (downscaling) y corregidos para que en el presente no tengan sesgo respecto al clima observado referenciado con la base de datos CR2Met (<http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>). Los detalles de este proceso de modelación, escalamiento y corrección son presentados en el Explorador de Amenazas Climáticas: <https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/>

Ejemplos de amenazas individuales empleadas en este proyecto son el cambio en la precipitación anual, número de olas de calor durante verano y duración promedio de la cubierta de nieve. En algunos casos, como el sector “biodiversidad” y “agricultura” la amenaza corresponde al compuesto de todos los factores climáticos, pues ellos son empleados como entrada para modelar el sistema en cuestión.

En adición a los cambios climáticos simulados por modelos de la atmósfera, el proyecto ARCLim ha contado con resultados de dos sistemas de simulación de otras componentes del sistema terrestre. Las condiciones atmosféricas simuladas por un conjunto de 4 modelos las que a su vez fueron empleadas como forzantes del modelo VIC que permite estimar los caudales (a nivel diario y mensual) en el presente y futuro intermedio para un conjunto de 116 cuencas a nivel nacional. Los detalles de las simulaciones VIC –originalmente desarrolladas para el Balance Hídrico Nacional- están descritos en la página web de ese proyecto. Por otro lado, la principal amenaza para sistemas emplazados en zonas costeras, como el caso de puertos y asentamientos humanos, corresponde al aumento en el nivel del mar y oleaje extremo. Cabe hacer notar que estas condiciones alteradas de hidrología y océano se asocian directamente al cambio climático, pero se han obtenido de modelos ad-hoc forzados por condiciones atmosféricas del futuro (y su contraparte en el clima actual). Atmósfera e hidrosfera son parte del sistema climático en su definición más amplia.

Por cierto, existen otras amenazas ambientales –vinculadas al clima de manera indirecta- que no han sido posibles de evaluar en el contexto de ARCLim, imposibilitando completar algunas cadenas de impactos propuestas inicialmente. Por ejemplo, la “salud” de los bosques y plantaciones se ve afectado por diversas plagas que afectan a los árboles. La recurrencia de estas plagas parece estar vinculada a ciertas condiciones meteorológicas, pero predecir su comportamiento en el clima futuro que es altamente incierto. Un caso similar ocurre con los florecimientos de algas nocivas (marea roja) y la proliferación del “piojo de mar (sea-lice)”, dos de las mayores amenazas para la acuicultura en el sur de Chile.

5. Consideraciones respecto a la exposición y vulnerabilidad

Para evaluar el impacto del cambio climático, se emplean condiciones futuras del clima (o diferencia con la condición actual), pero se considera la exposición y vulnerabilidad **actual** de cada sector o subsistema.

En la mayoría de los sectores se ha trabajado a escala comunal, de manera que la exposición es una métrica de cuán “masivo” es el recurso asociado a ese sector en cada comuna. Por ejemplo, en el caso de plantaciones forestales la exposición es la superficie (en km² o hectáreas) comunal cubierta por este tipo de paisaje. Notar que en algunos sectores la exposición puede ser nula (no existe ese recurso). En otros la exposición puede ser grande pero la amenaza nula o inexistente. En ambos casos el riesgo resultante será nulo. En otros sectores, sin embargo, se ha optado por otra forma de cuantificar la exposición. Existen varios sectores que son altamente concentrados espacialmente, ocupando una superficie minúscula al comparar con una comuna, como los puertos o centrales hidroeléctricas. En estos casos se ha optado por representar esos sistemas directamente en el mapa de cobertura nacional mediante un símbolo ubicado en su posición geográfica. El tamaño del símbolo a su vez es proporcional al tamaño (exposición) del sistema presente en ese lugar (Figura 4b).

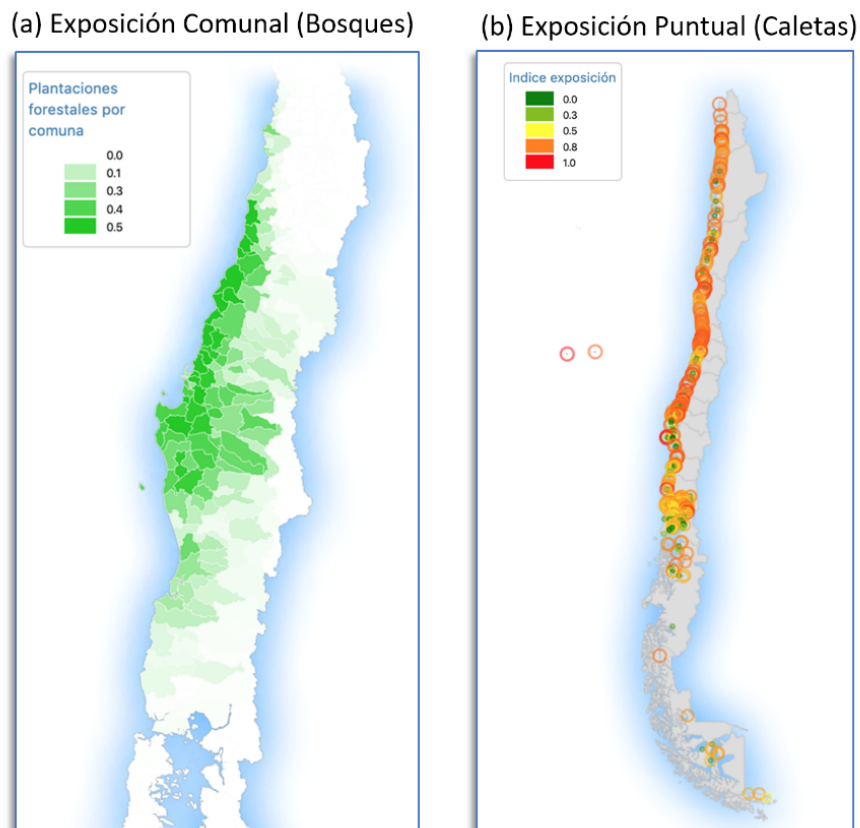


Figura 3 Representación gráfica de la exposición en un nivel (a) comunal y (b) puntual.

El valor actual de la vulnerabilidad está altamente determinado por la sensibilidad del sector al cambio de la condición climática (o su promedio en el futuro). Buena parte de esta sensibilidad obedece a aspectos biofísicos y/o humanos -independientes del clima- que determinan el nivel de impacto que el cambio climático produciría en una determinada unidad territorial. Un ejemplo permite entender mejor este concepto. Consideremos dos comunas con una cantidad comparable de población, es decir, similar exposición, las cuales se verán afectadas por un aumento de las olas de calor durante verano, generando así un impacto negativo en la salud de las personas. Se ha mostrado que el impacto es mayor sobre adultos mayores con enfermedades cardiacas, por lo que un posible indicador de la sensibilidad es precisamente la fracción de la población comunal con esa condición, la cual podría variar significativamente entre las comunas.

La estimación de la sensibilidad es compleja y depende del sistema/amenaza en cuestión. Su estimación se realizó en base a la experiencia empírica y cuantitativa (estudios en Chile o el extranjero) y en otros casos, a una relación más cualitativa en base a entrevistas a expertos y metólogos.

Como el cambio climático ha estado ocurriendo en forma marcada durante las últimas décadas, en algunos sectores ya se han implementado ciertas medidas de adaptación, reduciendo la vulnerabilidad, con el propósito de disminuir el impacto esperado. Regresando al ejemplo del impacto en salud humana sobre los habitantes, el seguimiento y aumento de las prestaciones de salud para los grupos de mayor riesgo es un ejemplo de

capacidad adaptativa que reduce la vulnerabilidad. Sin embargo, la capacidad adaptativa actualmente implementada varía entre comunas (u otras unidades territoriales) y es difícil de cuantificar. Cada grupo de trabajo (encargado de un sector/cadena) explicitará si en su análisis han considerado la capacidad adaptativa actual. Adicionalmente se incluirá una estrategia para incorporar esta dimensión en versiones futuras de ARClím.

Por otro lado, ARClím no considera el efecto estrategias adaptativas que podrían ser implementar en el futuro. En este sentido, ARClím pretende evaluar el riesgo climático en el caso más desfavorable, es decir, sin medidas de adaptación futuras, precisamente para relevar las zonas/sectores en mayor riesgo de manera de focalizar las medidas de adaptación.

6. Esquema de trabajo en ARClím

Este proyecto contempla el análisis de 12 sectores, cada uno de los cuales puede tener varios subsistemas. Estos han sido abordado diversos grupo de trabajo (WP) con amplia experiencia en ese sector (Figura 5). Notar que algunos sectores son abordados por múltiples WPs y algunos WP contribuyen a varios sectores. Cada WP ha seguido la guía metodológica general (IPCC 2014, GIZ 2017), aunque adaptada a su sector en particular, con el fin de proveer valores numéricos o cualitativos de los elementos basales (E,V/S,A) y el nivel de riesgo (R) con cobertura nacional y resolución comunal. Las cadenas de impacto desarrolladas por cada WP se presentan en la sección 7.

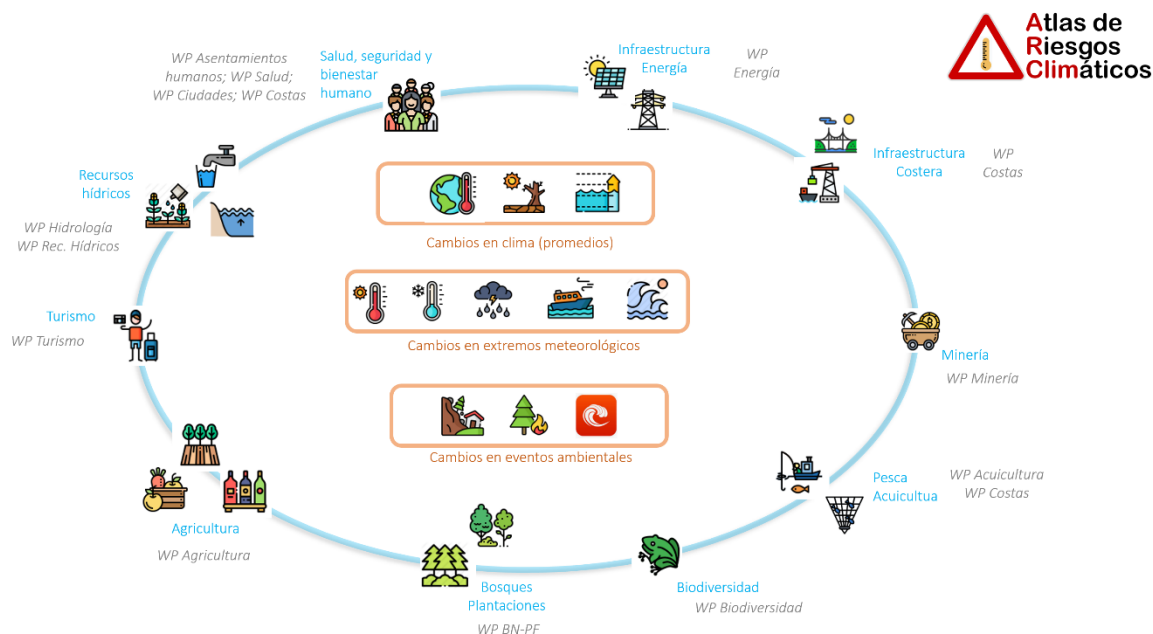


Figura 4. Diversos sectores y amenazas considerados en ARClím. En color celeste los sectores, en color gris los WP.

Los datos generados por cada WP para su sector son empleados para su despliegue en la página web de ARClím en forma de mapas nacionales, usando una escala de colores asociada a los niveles de E, V, A y R. La página web permitirá además acceder a los valores numéricos / cualitativos de cada índice en las unidades territoriales (comunas o similar) y una descarga masiva de esa información en el Explorador de Amenazas.

Tan importante como los datos que serán desplegados en la web es la metadata y la descripción de la metodología específica de cada WP. Por ejemplo, la generación de los índices básicos (A,E,V) para estimar el riesgo requiere en la mayoría de los casos de la combinación de una serie de atributos (espaciales o puntuales) cuyos valores y combinatorias estarán disponibles en ARClím. Este esquema modular y transparente permitirá que los resultados en ARClím sean completamente trazables y reproducibles por terceras partes, como también actualizar y refinar los resultados de ARClím en su primera versión, conforme más información esté disponible.

7. Cadenas de impactos en ARClím

La siguiente tabla muestra la síntesis de las cadenas de impacto consideradas en cada uno de los sectores de este proyecto. En cada caso se identifica el subsistema (en *itálica* la unidad territorial y cobertura), WP responsable, amenaza e impacto. Es importante hacer notar que estas son las cadenas de impacto que hemos considerado en este proyecto y son viables.

Sector	WP	CDI 1	CDI 2	CDI 3	CDI 4
Bosques Nativos	<i>Forestal UACH</i>	Incendios	Crecimiento		
Plantaciones Forestales	<i>Forestal UACH</i>	Incendios	Crecimiento		
Minería	<i>Minería</i>	Oper. Mineras	Oper. Faenas	Oper. Relaves	
Agricultura	<i>Agro_PUC</i>	Prod. Frutales*	Prod. Cultivos*	Prod. Praderas*	
Infra. Costera	<i>Costas</i>	Oper. Puertos	Oper. Caletas		
Recursos Hídricos	<i>Hidro-UCH</i>	Inund. Urb.	Inund. Rural	Sequía Hídrica	
	<i>Hidro-PUC</i>	Seguridad Riego			
Turismo	<i>Costas</i>	Erosión Playas			
	<i>Akutterra</i>	Vistas SNASPE*	Turismo Nieve	Turismo Playas*	
Pesca Artesanal	<i>INCAR</i>	Desembarques			
Acuicultura	<i>INCAR</i>	Salmon Agua Dulce	Salmon Engorda*2	Semillas Mejillon	Engorda Mejillon
Biodiversidad	<i>Biodiversidad</i>	BD Flora	Bd Flora	BD Fauna	BD Fauna
Salud/Bienestar Humano	<i>Asentamientos</i>	Morbilidad Urbana	Seg. Hídrica Rural	Seg. Hídrica Urbana	
	<i>Salud PUC</i>	Mortalidad neta	Mortalidad +	Mortalidad -	
	<i>Ciudades</i>	Isla Calor Urbana	Efecto heladas	Confort Term.	
	<i>Costas</i>	Anejamientos pob.			
Inf. Energía	<i>Energía PUC</i>	Transmisión Elec.	Hidro Generación	Gen. Eólica	Gen. Solar

8. Referencias

GIZ and EURAC 2017: Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ. Descargado 01.10.2020 desde https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2017/10/GIZ-2017_Risk-Supplement-to-the-Vulnerability-Sourcebook.pdf

IPCC 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press. Descargado 01.10.2020 desde <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>