

Informe  
Proyecto  
ARCLIM

# Asentamientos Humanos

**ARCLIM**  
Atlas de Riesgo Climático  
Chile



## Equipo realizador:

**Anahí Urquiza**, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2 / **Marco Billi**, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2 / **Rubén Calvo**, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2 / **Catalina Amigo**, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2 / **José Navea**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Tamara Monsalve**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Nicolás Alamos**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **C. Ignacio Neira**, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad / **Javiera Rauld**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Ángel Allendes**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Damaris Arrieta**, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad / **Valentina Barrera**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Jael Basoalto**, Red de Pobreza Energética RedPE / **María Paz Cárdenas**, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad / **Manuel Contreras**, Universidad de Valparaíso / **Matías Fleischmann**, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad / **Daniel Horta**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Julio Labraña**, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2 / **Cristian Larraguibel**, Universidad de Playa Ancha / **Ariel Muñoz**, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso / **Tamara Oyarzún**, Red de Pobreza Energética RedPE / **Guillermo Palacios**, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad / **Daniela Peña**, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso / **Matías Plass**, Red de Pobreza Energética RedPE / **Natalia Prieto**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Sofía Salinas**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **Pamela Smith**, Facultad de Arquitectura y Urbanismo UCH / **Manuel Vargas**, Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios NEST.R3 / **José Tomás Videla**, Raiz Consultores / **Patricio Winckler**, Universidad de Valparaíso.



## Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Urquiza, A.; Billi, M.; Calvo, R.; Amigo, A.; Navea, J.; Monsalve, T.; Alamos, N.; Neira, C.; Rauld, J.; Allendes, Á.; Arrieta, D.; Barrera, V.; Basoalto, J.; Cárdenas, M.; Contreras, M.; Fleischmann, M.; Horta, D.; Labraña, J.; Larraguibel, C.; Muñoz, A.; Oyarzún, T.; Palacios, G.; Peña, D.; Plass, M.; Prieto, N.; Salinas, S.; Smith, P.; Vargas, J.; Videla, M. & Winckler, P. 2020. Informe Proyecto ARClím: Asentamientos Humanos. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Red de Pobreza Energética, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad y Núcleo de Estudios Sistemáticos Transdisciplinarios, coordinado por el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Santiago, Chile.

## Preparado para:



ARClím es un proyecto del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile apoyado por el Programa Mundial de Evaluación y Gestión de Riesgos para la Adaptación al Cambio Climático (Pérdidas y Daños) por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ).

## Coordinado por:



Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2  
ANID/FONDAP/15110009



Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC  
de la Pontificia Universidad Católica de Chile

## Desarrollado por:





Informe  
Proyecto  
ARCLIM

# Asentamientos Humanos

**ARCLIM**  
Atlas de Riesgo Climático  
Chile



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.		Pág.	
<b>1</b>	<b>1. Introducción</b>		
<b>4</b>	<b>2. Metodología</b>		
4	2.1 Construcción de cadenas de impacto.	25	3.2.3 Sensibilidad.
6	2.2 Construcción de índices de Amenaza, Exposición y Sensibilidad.	28	3.2.4 Validación de la cadena de impacto y de los indicadores.
7	2.3 Construcción de índices de Riesgo.	28	3.2.5 Resultados.
<b>11</b>	<b>3. Cadenas de impacto y mapas de Riesgo</b>	34	3.3 Inseguridad hídrica doméstica urbana.
12	3.1 Olas de calor.	35	3.3.1 Amenaza.
13	3.1.1 Amenaza.	35	3.3.2 Exposición.
15	3.1.2 Exposición.	36	3.3.3 Sensibilidad.
15	3.1.3 Sensibilidad.	39	3.3.4 Validación de la cadena de impacto y de los indicadores.
16	3.1.4 Validación de la cadena de impacto y de los indicadores.	40	3.3.5 Resultados.
18	3.1.5 Resultados.	46	3.4 Inundaciones.
23	3.2 Inseguridad hídrica doméstica rural.	47	3.4.1 Amenaza.
24	3.2.1 Amenaza.	48	3.4.2 Exposición.
24	3.2.2 Exposición.	48	3.4.3 Sensibilidad.
		51	3.4.4 Validación de la cadena de impacto y de los indicadores.
		51	3.4.5 Resultados.



Pág.

- 59** 4. Diferencias y similitudes respecto de otras cadenas de impacto
- 59 4.1 Cadena de impacto de calor y de ciudades.
- 60 4.2 Cadenas de impacto de seguridad hídrica urbana y rural e inundaciones y de hidrología.
- 63** 5. Conclusiones
- 66** 6. Referencias
- 75** 7. Anexos



# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Pág.</b>		<b>Pág.</b>	
<b>5</b>	<b>Figura 1.</b> Estructura general de cadenas de impacto.	<b>22</b>	<b>Figura 13.</b> Mapa de Riesgo diferencial de olas de calor.
<b>5</b>	<b>Figura 2.</b> Fases de la construcción de cadenas de impacto.	<b>23</b>	<b>Figura 14.</b> Cadena de impacto de inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>6</b>	<b>Figura 3.</b> Fases de la construcción de índices de Amenaza, Exposición y Sensibilidad.	<b>29</b>	<b>Figura 15.</b> Mapa de Amenaza presente de inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>7</b>	<b>Figura 4.</b> Fases de la construcción de índices de Riesgo.	<b>29</b>	<b>Figura 16.</b> Mapa de Amenaza futura de inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>13</b>	<b>Figura 5.</b> Cadena de impacto de olas de calor.	<b>30</b>	<b>Figura 17.</b> Mapa de Exposición presente de inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>18</b>	<b>Figura 6.</b> Mapa de Amenaza presente de olas de calor.	<b>30</b>	<b>Figura 18.</b> Mapa de Exposición futura de inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>19</b>	<b>Figura 7.</b> Mapa de Amenaza futura de olas de calor.	<b>31</b>	<b>Figura 19.</b> Mapa de Sensibilidad presente de inseguridad doméstica hídrica rural.
<b>19</b>	<b>Figura 8.</b> Mapa de Amenaza diferencial de olas de calor.	<b>31</b>	<b>Figura 20.</b> Mapa de Riesgo presente inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>20</b>	<b>Figura 9.</b> Mapa de Exposición presente de olas de calor.	<b>32</b>	<b>Figura 21.</b> Mapa de Riesgo futuro de inseguridad hídrica doméstica rural.
<b>20</b>	<b>Figura 10.</b> Mapa de Sensibilidad de olas de calor.	<b>33</b>	<b>Figura 22.</b> Indicador de Amenaza diferencial de inseguridad hídrica doméstica rural diferencial.
<b>21</b>	<b>Figura 11.</b> Mapa de Riesgo presente de olas de calor.		
<b>21</b>	<b>Figura 12.</b> Mapa de Riesgo futuro de olas de calor.		



# ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

- 33 Figura 23.**  
Indicador de Riesgo diferencial de inseguridad hídrica doméstica rural.
- 34 Figura 24.**  
Cadena de impacto de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 41 Figura 25.**  
Mapa de Amenaza presente de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 41 Figura 26.**  
Mapa de Amenaza futura de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 42 Figura 27.**  
Indicador de Amenaza diferencial de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 42 Figura 28.**  
Mapa de Exposición presente de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 43 Figura 29.**  
Mapa de Exposición futura de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 43 Figura 30.**  
Mapa de Sensibilidad de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 44 Figura 31.**  
Mapa de Riesgo presente de inseguridad hídrica doméstica urbana.

Pág.

- 44 Figura 32.**  
Mapa de Riesgo futuro de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 45 Figura 33.**  
Indicador de Riesgo diferencial de inseguridad hídrica doméstica urbana.
- 47 Figura 34.**  
Cadena de impacto de inundaciones.
- 52 Figura 35.**  
Mapa de Amenaza presente de inundaciones.
- 52 Figura 36.**  
Mapa de Amenaza futura de inundaciones.
- 53 Figura 37.**  
Indicador de Amenaza diferencial de inundaciones.
- 53 Figura 38.**  
Mapa de Exposición presente de inundaciones.
- 54 Figura 39.**  
Mapa de Exposición futura de inundaciones.
- 55 Figura 40.**  
Mapa de Sensibilidad de inundaciones.
- 55 Figura 41.**  
Mapa de Riesgo presente de inundaciones.
- 56 Figura 42.**  
Mapa de Riesgo futuro de inundaciones.
- 56 Figura 43.**  
Indicador de Riesgo diferencial de inundaciones.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.	
91	<b>Figura 44.</b> Cadena de impacto de olas de calor.
91	<b>Figura 45.</b> Cadena de impacto de inseguridad hídrica doméstica rural.
92	<b>Figura 46.</b> Cadena de impacto de inseguridad hídrica doméstica urbana.
93	<b>Figura 47.</b> Cadena de impacto de inundaciones.
94	<b>Figura 48.</b> Cadena de impacto de la inestabilidad del suministro energético.

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.	
8	<b>Tabla 1.</b> Niveles de Riesgo en función de Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad.
12	<b>Tabla 2.</b> Valores del índice y su interpretación.
13	<b>Tabla 3.</b> Indicadores del índice de Amenaza de olas de calor.
14	<b>Tabla 4.</b> Niveles de Amenaza en función de distintos indicadores de olas de calor.
17	<b>Tabla 5.</b> Indicadores del índice de Sensibilidad de olas de calor.
24	<b>Tabla 6.</b> Indicadores del índice de Amenaza de inseguridad hídrica doméstica rural.
27	<b>Tabla 7.</b> Indicadores del índice de Vulnerabilidad de inseguridad hídrica doméstica rural.
35	<b>Tabla 8.</b> Indicadores de índice de Amenaza de inseguridad hídrica doméstica urbana.
39	<b>Tabla 9.</b> Indicadores de índice de Sensibilidad de inseguridad hídrica doméstica urbana.
47	<b>Tabla 10.</b> Indicadores de índice de Amenaza de inundaciones.



**Pág.**

- 50 Tabla 11.**  
Indicadores de índice de Sensibilidad de inundaciones.
- 75 Tabla 12.**  
Número de entrevistados por Amenaza.
- 89 Tabla 13.**  
Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de olas de calor (Exposición, Sensibilidad y capacidad de respuesta y adaptación).
- 89 Tabla 14.**  
Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de inseguridad hídrica rural (Sensibilidad, Exposición, interacción entre Amenazas y capacidad de respuesta y adaptación).
- 89 Tabla 15.**  
Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de inseguridad hídrica urbana (Sensibilidad, Exposición, interacción entre Amenazas y capacidad de respuesta y adaptación).
- 89 Tabla 16.**  
Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de inundaciones (Sensibilidad, Exposición, interacción entre Amenazas y capacidad de respuesta y adaptación).
- 90 Tabla 17.**  
Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de suministro energético (Sensibilidad, Exposición, interacción entre Amenazas y capacidad de respuesta y adaptación).



**ARCLIM**  
Atlas de Riesgo Climático  
Chile









# 1

# INTRO- DUCCIÓN

El presente capítulo tiene por objetivo mostrar los resultados logrados por el Working Package (WP) de **Asentamientos Humanos**, relacionados con la generación de cadenas de impacto y mapas de Amenaza, Exposición, Sensibilidad y Riesgo, asociados con los impactos sufridos por la población frente a **olas de calor (1), inseguridad hídrica doméstica rural (2), inseguridad hídrica doméstica urbana (3) e inundaciones (4)**.

El objetivo principal de estos análisis es proveer una plataforma para empezar la discusión respecto de cómo el clima (y el cambio climático más precisamente) afecta de manera diferencial a distintas poblaciones y territorios, y de cómo esta distribución se modificará en futuro respecto de la situación a la que estamos acostumbrados.

Con este objetivo, se presenta, en primer lugar, un marco metodológico, donde se expone una definición integral del concepto *Riesgo*, además de una descripción de las etapas de construcción de las cadenas de impacto y de los índices de Amenaza, Exposición y Sensibilidad.

En segundo lugar, se muestran los resultados, describiendo las cadenas de impacto y mapas de Riesgo de las Amenazas de olas de calor, inseguridad hídrica doméstica rural, inseguridad hídrica doméstica urbana e inundaciones. Cada subsección aborda una Amenaza en particular, caracterizando su respectiva cadena de impacto, los indicadores usados para su análisis (Amenaza, Exposición y Sensibilidad), las reglas de agregación, los resultados de la validación experta y el correspondiente mapa de Riesgo.

En la tercera sección se discuten las similitudes y diferencias de los resultados presentados en este capítulo y aquellos logrados por otros WP, particularmente los WP de Ciudades (en lo referido a la cadena de impacto de olas de calor) y de Hidrología (en lo referido a las cadenas de impacto de inseguridad hídrica rural y urbana, y de inundaciones).

El informe termina con una reflexión sobre el estudio, discutiendo su relevancia a nivel país, especialmente para la formulación de políticas basadas en evidencia, y mencionando



brechas de información que deben ser subsanadas a futuro. En este sentido, este no debiese comprenderse como un diagnóstico acabado de la situación del país, sino como un primer esfuerzo para avanzar de manera sistemática e integral en esa dirección. Además, tal como se discutirá más adelante, los resultados no deben comprenderse como estimaciones o predicciones *absolutas* de los riesgos que afectan o afectarán a distintas poblaciones y territorios, sino como un ordenamiento *relativo* de la predisposición diferencial de dichas poblaciones y territorios a verse afectados por distintos tipos de Amenazas vinculadas al clima.

Como anexos se incluye, en primer lugar, el informe que presenta los *resultados de los metálogos*: dos procesos dialógicos que se llevaron a cabo en 2019 y 2020, respectivamente, con expertos relevantes de cada sector (académicos, tomadores de decisión e integrantes de la sociedad

civil), con el fin de refinar, complementar y validar, tanto las cadenas de impacto, como la selección de indicadores empleados para generar los mapas.

En segundo lugar, se presentan las fichas de *indicadores* utilizados en esta investigación, describiendo sus características, su relevancia para la construcción de cadenas de impacto y mapas de Riesgo, y sus limitaciones.

Finalmente, se integra un *repositorio*, en el cual se resumen y articulan ordenadamente los principales indicadores y series de datos disponibles en el país para la caracterización de riesgos climáticos a distinta escala. Se espera mediante la publicación de este repositorio ofrecer una plataforma unificada para futuros esfuerzos de investigación, planificación e intervención en temáticas de cambio climático en Chile.







1010 H

1029







# 2 METODO- LOGÍA

En consonancia con lo planteado en el último Informe de Avance del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2018), para los fines del presente estudio el **Riesgo** se comprende como el resultado de la interacción entre Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad. **Amenaza** se entiende aquí como un acaecimiento potencial de un suceso, de origen natural o humano, o de un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. **Exposición** se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente por una Amenaza. Finalmente, **Vulnerabilidad** consiste en la propensión o predisposición a ser alterado negativamente ante un suceso (**Figura 1**).

El análisis presentado en este capítulo consistió de tres etapas principales, cada una compuesta por múltiples actividades descritas a continuación: 1) construcción de ca-

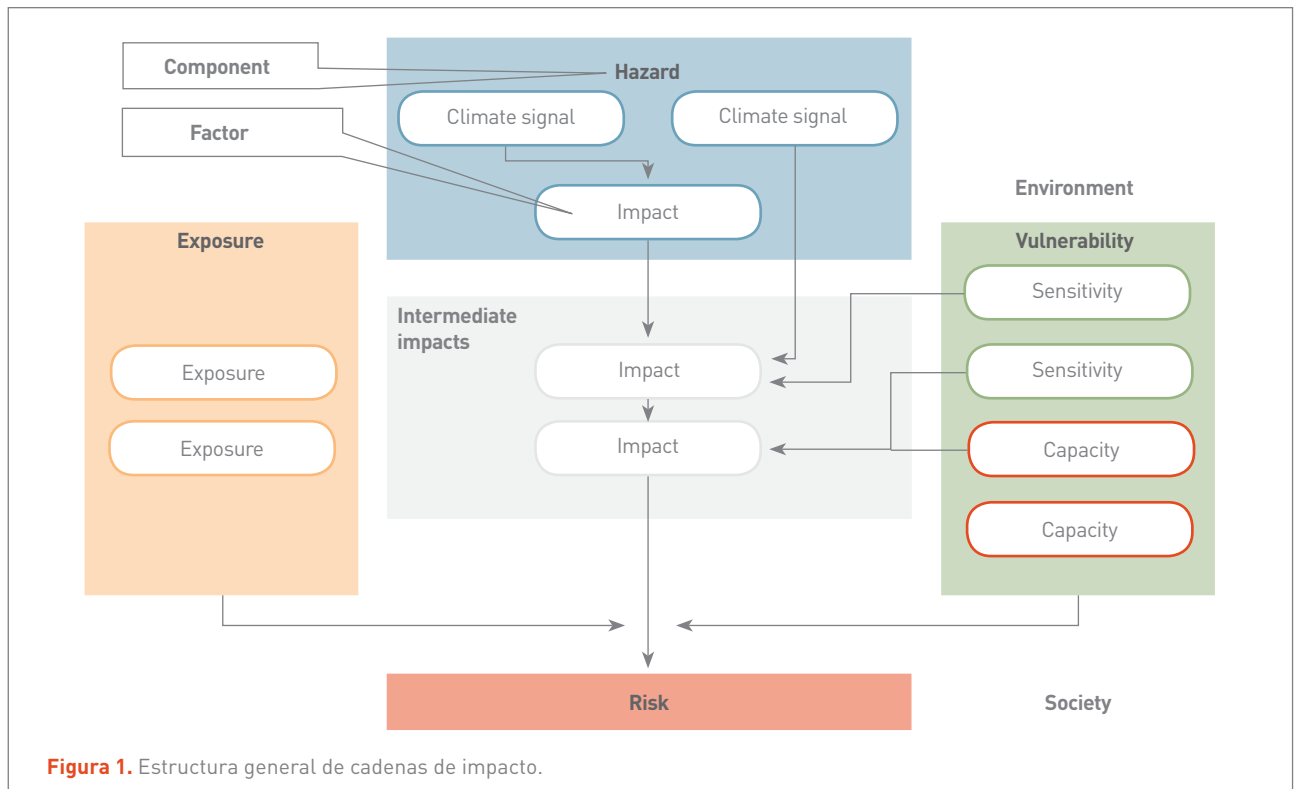
denas de impacto; 2) construcción de índices de Amenaza, Exposición y Sensibilidad; y 3) construcción de índices de Riesgo.

## 2.1 CONSTRUCCIÓN DE CADENAS DE IMPACTO

---

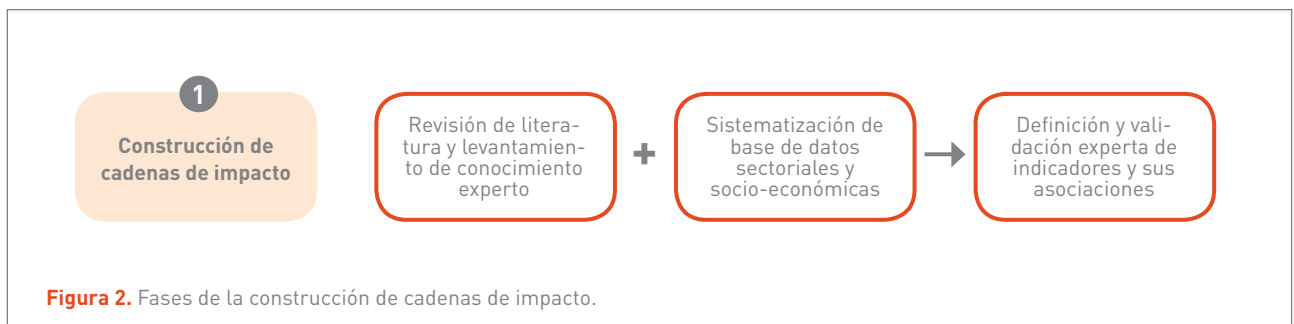
La **Figura 2** resume las fases de la construcción de cadenas de impacto.

Las cadenas deben ser operacionalizadas de manera distinta según cada caso. En lo que respecta al impacto del cambio climático en los asentamientos humanos —tema del presente informe—, se consideró clave la revisión de la literatura científica internacional y nacional, así como la sistematización de la literatura gris disponible. Con este objetivo se revisaron los principales artículos científicos indizados en los repositorios Web of Science y SciELO que abordasen las Amenazas disponibles, así como informes de política pública y reportes expertos que, a nivel nacional



**Figura 1.** Estructura general de cadenas de impacto.

Fuente: GIZ (2017).



**Figura 2.** Fases de la construcción de cadenas de impacto.

y regional, discutiesen sus efectos. En cada documento se identificaron los principales impactos asociados a cada Amenaza, así como los factores de Exposición, sensibilidad y resiliencia asociados a estas (**anexo 2**).

De la misma manera, se levantó conocimiento experto sobre estas Amenazas, prestando especial atención a la reflexión de actores relevantes, como científicos (académicos e investigadores), políticos (a nivel nacional, regional y local) y *stakeholders* (desde el mundo empresarial, la sociedad civil y las comunidades afectadas). Esta decisión se basó en que la presencia de estos actores permite de-

finir mejores indicadores y otorgar legitimidad a las evaluaciones de impacto y, por tanto, aumentar la viabilidad de las medidas que se decidan implementar. En efecto, en la literatura internacional se argumenta la conveniencia de incluir e involucrar a diferentes actores desde etapas tempranas, recomendando emplear técnicas y formatos que faciliten el diálogo y la comprensión, fomentar la transparencia y la responsabilidad de las decisiones y contar con facilitadores expertos en las discusiones (Hegger, Lamers, Van Zeijl-Rozema, & Dieperink, 2012; Irvin & Stansbury, 2004; Lang *et al.*, 2012; Ngar-Yin Mah & Hills, 2014; Reed, 2008).



Considerado lo anterior, se seleccionó una serie de informantes en virtud de su afiliación a instituciones claves del mundo académico, a organizaciones de la sociedad civil y a organismos públicos vinculados con la gestión de estas Amenazas, así como por su renombre en el área de estudio y/o por haber sido mencionados como sugerencia de otros informantes. Las entrevistas adoptaron una pauta de preguntas semiestructurada (Flick, 2007), cubriendo aspectos asociados con los impactos del cambio climático sobre la población, los grupos poblacionales más afectados, los principales determinantes de su sensibilidad y resiliencia, y las políticas públicas existentes en los niveles nacional y comunal. Las 30 personas entrevistadas incluyen integrantes de la academia, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil.

A continuación, se sistematizaron bases de datos sectoriales y socioeconómicas que analicen, directa o indirectamente, la Exposición y Vulnerabilidad asociadas a las Amenazas, considerando indicadores productivo-sectoriales, administrativo-institucionales y socioeconómicos o demográficos. La búsqueda de bases de datos se enfocó en fuentes de información de libre acceso gestionadas por instituciones públicas, como los ministerios de Agricultura, de Educación, de Obras Públicas, del Medio Ambiente, de Energía, de Salud y de Hacienda. Asimismo, se realizó un catastro de instrumentos de gestión y de planificación territorial disponibles para distintas comunas del país, poniendo énfasis en identificar indicadores que permitieran visualizar la Vulnerabilidad frente a las Amenazas abordadas en este informe con un alcance nacional y comunal.

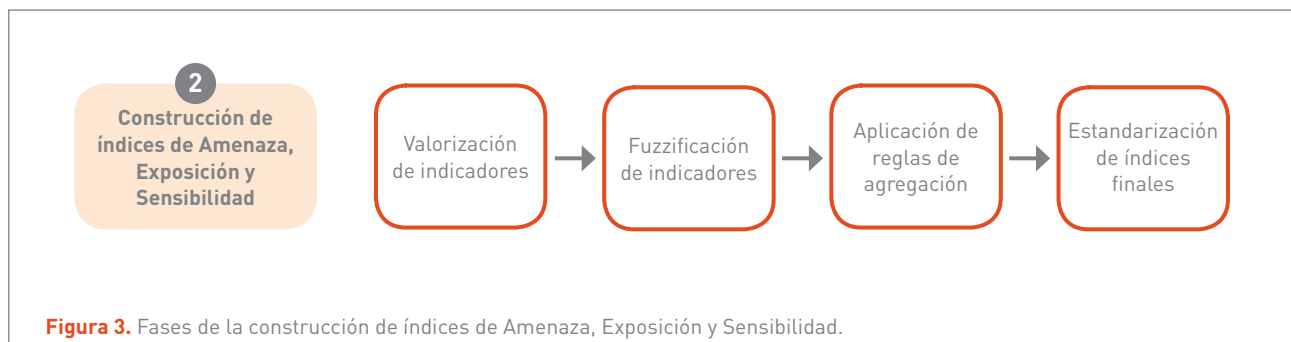
Finalmente, con el objetivo refinar y validar las cadenas de impacto y los resultados obtenidos de su valorización,

se realizó un proceso de co-construcción participativa con expertos y *stakeholders* locales, empleando la metodología del metalogo (Urquiza *et al.*, 2018). Dicha metodología se articuló en tres etapas: a) realización de una consulta a expertos (académicos, tomadores de decisiones y representantes de la sociedad civil), a través de un cuestionario web que precisaba una serie de aspectos de las entrevistas realizadas; b) sistematización de los resultados de la consulta a expertos, de modo de obtener sugerencias respecto de bases de datos y definiciones analíticas; y, c) iteración del informe resumen de los resultados, recepción de las observaciones de los participantes y modificación de la síntesis, considerando las distintas retroalimentaciones. Los resultados de estas etapas se presentan en el **anexo 1**.

Al final de este proceso fue necesario realizar, en algunos casos, reuniones de validación *ad hoc* con expertos sectoriales específicos, incluyendo el Ministerio de Desarrollo Social (MIDESO), el Ministerio de Energía (MINEN), la Dirección General de Aguas (DGA), la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), entre otros miembros de ETICC, y expertos de la academia.

## 2.2 CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES DE AMENAZA, EXPOSICIÓN Y SENSIBILIDAD

La **Figura 3** resume las etapas de la construcción de índices de Riesgo.





Como se indica en la **Figura 3**, para la construcción de índices se usó la metodología *fuzzy logic*. Esta metodología ha sido utilizada con anterioridad para análisis de Riesgo y capacidad adaptativa en el caso chileno (Araya-Muñoz *et al.*, 2016, 2017). Parte del supuesto de que existe información limitada respecto de los umbrales de Riesgo de cada variable y de las interacciones entre los componentes del Riesgo, lo que dificulta un modelamiento cuantitativo de impactos intermedios y del Riesgo final. Ante esta situación, la metodología *fuzzy logic* parte de la base de un procesamiento semi-cualitativo de la información, en función de la generación de reglas lógicas de agregación, siguiendo las etapas que se describen a continuación.

En primer lugar, cada variable se transformó en un indicador de membresía al interior de un conjunto difuso (*fuzzy set*) con un rango entre 0 y 1, que representa el grado de membresía del caso de estudio (cada comuna, en el caso de esta investigación) respecto de la variable final. Para la definición de funciones de membresía se utilizó una curva tipo S, donde el punto más elevado corresponde al máximo de la distribución empírica de la variable. De este modo, los resultados del análisis deben interpretarse como puntajes relativos en que cada uno simboliza el Riesgo relativo a la distribución empírica del país.

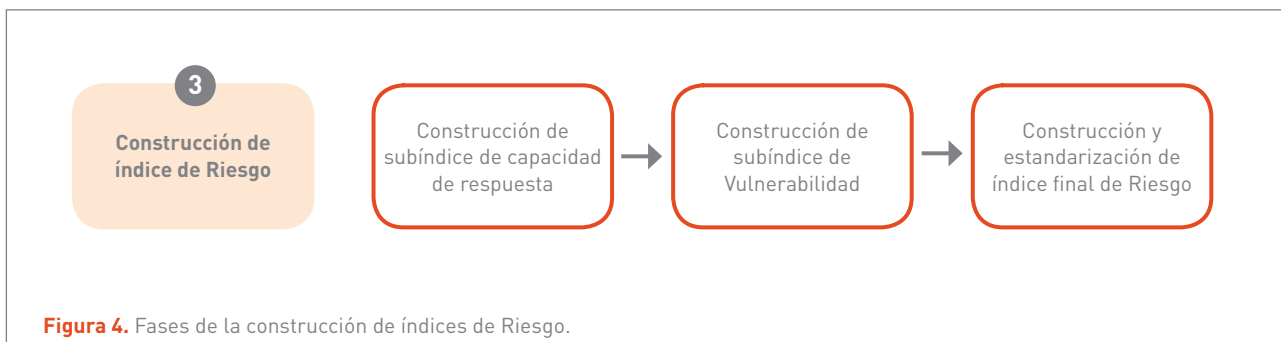
Luego de esta transformación se agregaron los indicadores parciales utilizando reglas en una lógica IF-THEN, es decir, si se cumple un conjunto de condiciones, se considerará que el caso posee un riesgo alto, medio o bajo. Por ejemplo, si la comuna tiene una alta proporción de personas de tercera edad, niños y adolescentes, entonces es más sensible frente a la Amenaza de las olas de calor. Para aquello, se utilizaron los operadores AND y OR, los

cuales, en el marco de la lógica booleana de conjuntos difusos, permiten seleccionar matemáticamente el mínimo y máximo nivel de membresía entre los indicadores sujetos a agregación. Para evitar que un conjunto pequeño de variables con valores atípicos dominase el proceso de agregación, sesgo que puede presentar el uso de estos operadores (Acosta-Michlik *et al.*, 2008; Araya-Muñoz *et al.*, 2017), se realizaron pruebas de sensibilidad y de validación de los resultados con expertos nacionales en las áreas.

Finalmente, las distribuciones de membresía fueron transformadas, nuevamente, en un dato puntual para cada comuna a nivel país, usando el método del centroide. Esta metodología se replicó para cada índice (Amenaza, Exposición y Sensibilidad) de cada cadena de impacto (olas de calor, inseguridad hídrica rural y urbana, inundaciones). En cada caso, se emplearon indicadores y reglas de agregación ajustadas a la cadena de impacto generada por cada Amenaza. Para más detalle, ver los correspondientes apartados en las *subsecciones de resultados*.

## 2.3 CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES DE RIESGO

Para cada cadena de impacto se generó un índice de Riesgo, en función de una combinación de los índices de Amenaza, Exposición y Sensibilidad registrados para cada comuna. Para eso, fueron necesarias las siguientes fases:



**Figura 4.** Fases de la construcción de índices de Riesgo.



En primer lugar, se construyó un **índice de Capacidad de Respuesta** (igual para todas las comunas)<sup>1</sup>, por medio de los siguientes pasos:

- Se convirtió cada indicador<sup>2</sup> en una distribución fuzzy (con rango entre 0 y 1).
- Se agregaron entre sí los indicadores dentro de cada dimensión, asumiendo que se encuentra más preparada una comuna que cuente con más instrumentos de respuesta institucional y con un mayor promedio de cobertura a lo largo de los distintos tipos de servicio de urgencia.
- Se agregaron las subdimensiones, considerando una comuna:
  - > **Muy preparada**, si cuenta con niveles elevados en ambas subdimensiones.
  - > **Medianamente preparada**, si cuenta con niveles elevados en solo una de las subdimensiones.

> **Poco preparada**, si no cuenta con niveles elevados en ninguna subdimensión.

Luego, se construyó un **índice de Vulnerabilidad** que posee:

- > **Valores altos** en aquellas comunas que cuentan con elevada Sensibilidad y reducida capacidad de respuesta.
- > **Valores medios** en aquellas comunas que cuentan con elevada Sensibilidad, pero también con elevada capacidad de respuesta.
- > **Valores bajos** en aquellas comunas que cuentan con baja Sensibilidad, independiente de su capacidad de respuesta.

Finalmente, se generó el **índice de Riesgo**, empleando las reglas descritas en la siguiente **Tabla 1**:

Niveles de Riesgo		Amenaza Alta	Amenaza Media	Amenaza Baja
Vulnerabilidad Alta	Exposición Alta	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Bajo
	Exposición Media	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Bajo
	Exposición Baja	Riesgo Alto	Riesgo Alto	Riesgo Bajo
Vulnerabilidad Media	Exposición Alta	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo
	Exposición Media	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Bajo
	Exposición Baja	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Bajo
Vulnerabilidad Baja	Exposición Alta	Riesgo Medio	Riesgo Medio	Riesgo Bajo
	Exposición Media	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo
	Exposición Baja	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo	Riesgo Bajo

**Tabla 1.** Niveles de Riesgo en función de Amenaza, Exposición y Vulnerabilidad.

1 Cabe destacar que este índice pretende ser solo una primera aproximación a la capacidad de respuesta, centrada en la presencia de servicios de emergencia y en la presencia de instrumentos de respuesta institucional frente a estas Amenazas. El WP de Asentamientos Humanos ha elaborado una versión actualizada -más completa y robusta- de este índice, que está disponible en el documento titulado "Exploración de un Índice de Resiliencia Genérica", anexo independiente de este informe. Cabe notar que es esta versión actualizada aquella que se representa actualmente en la plataforma online del proyecto.

2 Los indicadores considerados refieren a 1) servicios de urgencia: número de centros de salud rurales en la comuna por cada 25.000 habitantes, número de centros de salud urbanos en la comuna por cada 25.000 habitantes, número de otros establecimientos municipales de salud en la comuna por cada 25.000 habitantes, número de postas de salud rural (PSR) por cada 5.000 habitantes, número de ambulancias por cada 5.000 habitantes y número de compañías de bomberos por cada 5.000 habitantes; 2) Capacidad de respuesta institucional: posesión de una nómina de organizaciones comunitarias vigentes por comuna, listado de comunas con perfil climático municipal actualizado, listado de comunas con estrategia de comunicación de cambio climático, constitución del Consejo Comunal de Organizaciones de la Sociedad Civil (COSOC) en su municipio desde el año 2016 y existencia de ordenanzas de participación ciudadana desde el año 2016.



Como se puede apreciar en dicha tabla:

- **Una comuna tiene Riesgo alto cuando:**

- > presenta niveles altos o incluso moderados de Amenaza en conjunto con niveles altos o incluso moderados de Vulnerabilidad;
- > presenta niveles moderados de Vulnerabilidad, pero en conjunto con niveles altos de Amenaza y de Exposición.

- **Una comuna tiene Riesgo medio cuando:**

- > presenta niveles medios de Amenaza y de Vulnerabilidad;

- > presenta niveles altos de Amenaza junto con niveles moderados de Vulnerabilidad y una Exposición media o baja;
- > presenta niveles moderados o incluso elevados de Amenaza, registra una baja Vulnerabilidad en conjunto con niveles elevados de Exposición.

- **Una comuna tiene Riesgo bajo cuando:**

- > presenta reducidos niveles de Amenaza;
- > presenta niveles moderados o incluso elevados de Amenaza, registra una baja Vulnerabilidad en conjunto con niveles reducidos o moderados de Exposición.









# 3

## CADENAS DE IMPACTO Y MAPAS DE RIESGO

Esta sección presenta las cadenas de impacto elaboradas para cada una de las Amenazas identificadas en este informe, las cuales se visualizan en mapas. Antes de presentar dichos mapas es necesario resaltar que los índices elaborados por medio de la metodología de cadenas de impacto no deben considerarse como predicciones. En efecto, estos no indican qué tan probable es, en términos absolutos, que ocurra un impacto en cierto territorio; su propósito es visualizar la predisposición relativa de cada comuna a sufrir estos impactos, es decir, qué tan Amenazada, expuesta, sensible o capaz de responder y adaptarse se encuentra

cada una. Se trata, en otras palabras, de *rankings* de Amenaza, Exposición, Sensibilidad y Riesgo. Debe subrayarse que una comuna con índice de Riesgo 0.8 no tiene el doble de Riesgo de una comuna con 0.4: mientras la primera presenta una predisposición muy alta a sufrir los impactos de la Amenaza, en la segunda esta predisposición es más bien moderada.

La **Tabla 2** ilustra el significado de distintos valores del índice, así como la escala de colores empleada para representarlo en los mapas.



Valor del Índice	Significado	Intensidad del color
0 a 0.199	Muy bajo	Muy tenue
0.2 a 0.399	Bajo	Tenue
0.4 a 0.599	Moderado	Intensidad media
0.6 a 0.799	Alto	Oscuro
0.8 a 1	Muy alto	Muy Oscuro

**Tabla 2.** Valores del índice y su interpretación.

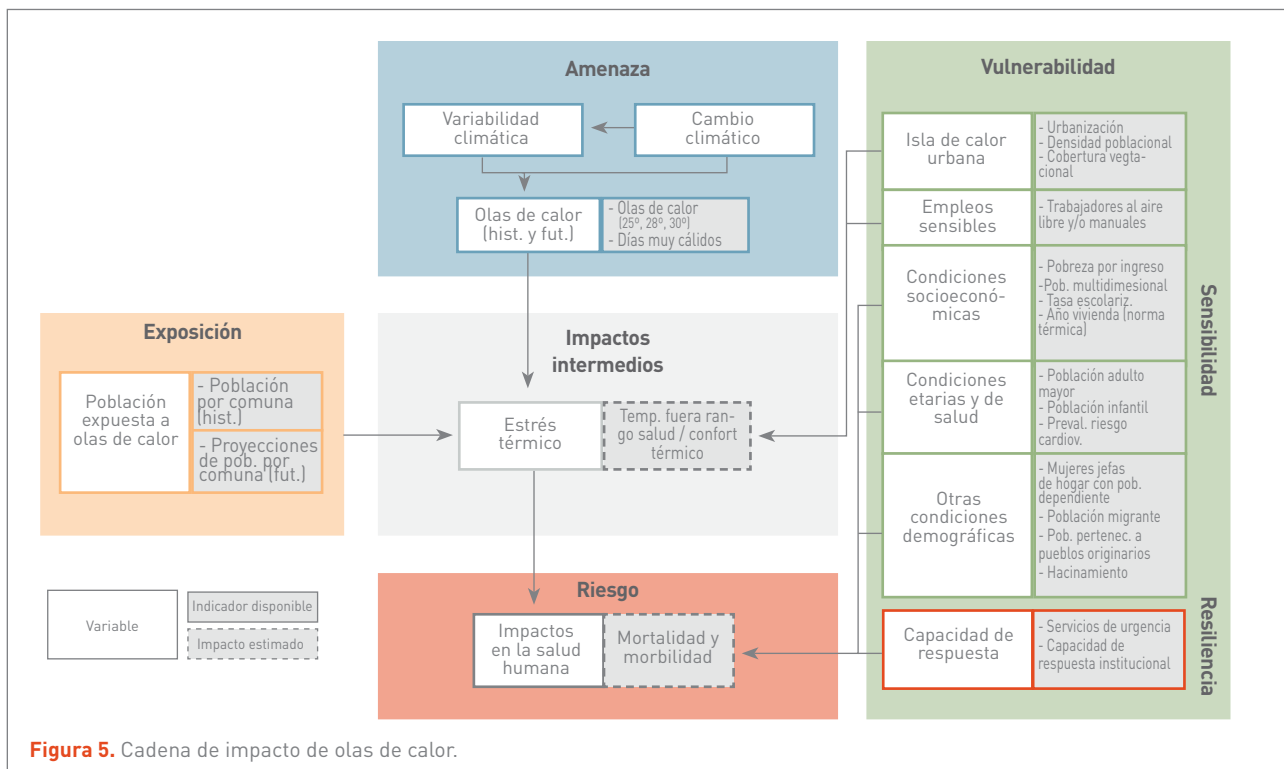
### 3.1 OLAS DE CALOR

La presente cadena de impacto considera las consecuencias de olas de calor para la población. De acuerdo con la evidencia científica, como resultado del cambio climático se espera un incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos de calor extremo, lo cual se ha correlacionado con impactos directos en las tasas de morbilidad y mortalidad (Juhyeon & Kim, 2018; Patel *et al.*, 2019; Ramamurthy *et al.*, 2017). Para el caso chileno, en particular, evidencia previa ha sugerido que, bajo las condiciones climáticas a las cuales estamos acostumbrados (propias del período 1980 – 2010), es esperable una mayor ocurrencia de condiciones de calor extremo, especialmente, en la zona norte del país, así como en las comunas costeras del centro-norte y en los valles centrales de las zonas centro y centro-sur (ADAPT-Chile & Ilustre Municipalidad de Santiago, 2015; CR2, 2015; Green Lab UC & Subsecretaría del Medio Ambiente, 2012).

Estos impactos dependen tanto de la frecuencia de los episodios de calor extremo, como de su intensidad y de su duración: la Exposición prolongada a temperaturas elevadas puede conducir a superar la capacidad termorreguladora humana, lo que -a su vez- genera impactos de salud. En este sentido, la literatura sugiere considerar la existencia de olas de calor cuando se dan tres o más días consecutivos en los que se supera un umbral de temperatura inusualmente elevada, esto es, que salga del rango de temperatura de confort humano (Nairn & Fawcett, 2015; Udin Åström, 2011; Piticar, 2018).

Cabe notar que esta definición no presta importancia a la duración efectiva de cada episodio de ola de calor. Si bien es un elemento importante para definir su impacto, se optó por concentrarse en la frecuencia de los eventos más que en su duración, de modo de permitir una mayor comparabilidad del fenómeno a lo largo de las distintas regiones del país. Otro factor relevante al examinar el impacto de la Amenaza es la intensidad de las olas de calor (definida en función del umbral que se supera). Sin embargo, no existe pleno consenso en la literatura especializada respecto de cuál sea el umbral más adecuado para todos los casos, empleándose a menudo definiciones que hacen referencia a umbrales relativos (por ejemplo, indicando que se está en presencia de olas de calor toda vez que se den tres o más días seguidos por arriba del percentil 90 de la distribución esperada para determinado territorio).

El problema es que estas definiciones relativas no permiten comparar de manera transparente lo que ocurre en territorios heterogéneos entre sí y, por eso, no resultan idóneos para la elaboración de un Atlas de Riesgo Climático con alcance nacional, como el que se propone en este esfuerzo, sobre todo, considerando la amplia variedad de zonas climáticas del país. Optar por un solo umbral hubiera tenido el efecto de aplanar justamente esas diferencias climáticas, que son importantes a la hora de definir el grado de tolerancia de las poblaciones frente a distintos rangos térmicos. Con el fin de equilibrar estas dos exigencias, en este estudio se optó por utilizar múltiples umbrales de temperatura, que capturen distintas posibles manifestaciones de las olas de calor en distintas zonas del país.



Tal como muestra la **Figura 5**, para los fines de este estudio se han conceptualizado los impactos de las olas de calor, tomando en cuenta un impacto intermedio (estrés térmico) y un impacto final (sobre la salud de la población, definido en términos de mortalidad y/o morbilidad). En función de lo señalado por la literatura especializada, el impacto intermedio depende, sobre todo, de condiciones de sensibilidad territorial, incluyendo la existencia de islas de calor urbanas, y la proporción de población ocupada en empleos sensibles térmicamente (ej. al aire libre). Se considera que este impacto intermedio puede conducir a un impacto final (dependiendo de condiciones de sensibilidad poblacional, que incluyen edad, prevalencia de riesgo car-

diovascular, existencia de grupos vulnerables y tasas de pobreza), compensado por posibles factores de capacidad de respuesta (respuesta en emergencia y capacidad de respuesta institucional).

A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto.

### 3.1.1 AMENAZA

El índice de **Amenaza** se compone de cuatro indicadores:

Indicador	Descripción
Días extremadamente cálidos	Número promedio de días en un año con temperaturas máximas > 34°
Olas de calor 25°	Número promedio de ocurrencias en un año de 3 días consecutivos con temperatura máximas > 25°
Olas de calor 28°	Número promedio de ocurrencias en un año de 3 días consecutivos con temperatura máximas > 28°
Olas de calor 30°	Número promedio de ocurrencias en un año de 3 días consecutivos con temperatura máximas > 30°

**Tabla 3.** Indicadores del índice de Amenaza de olas de calor.



Tal como se mencionó, estos indicadores se seleccionaron con el fin de tener una representación lo más robusta posible de las distintas condiciones climáticas del país. En particular, al emplear tres distintos umbrales de temperatura para la definición de olas de calor se busca rescatar la heterogeneidad de distintas zonas climáticas, que son importantes a la hora de definir el grado de tolerancia de las poblaciones frente a distintos rangos térmicos y de proveer comparabilidad entre estas zonas climáticas. Asimismo, el empleo de un indicador de ‘días extremadamente cálidos’ permite capturar situaciones de calor extremo que, pese a no prolongarse en el tiempo, pueden implicar una Amenaza debido a su intensidad.

Todos los datos fueron generados a partir de modelaciones climáticas por el WP de proyecciones climáticas para dos horizontes temporales: 1980 - 2010 (riesgo presente) y 2035 - 2065 (riesgo futuro). Para las proyecciones futuras se utilizó el escenario RCP8.5.

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- Una comuna presenta una **Amenaza alta** cuando 1) registra una frecuencia relativamente elevada de olas de calor por arriba de 28 °C o de 30 °C; 2) pese a tener una frecuencia mediana de estas (28 °C y 30 °C), la frecuencia de eventos con días por arriba de 25°C o de días muy cálidos (>34°C) es elevada.

- Una comuna tiene una **Amenaza baja** cuando 1) tiene una frecuencia relativamente reducida de olas de calor por arriba de 28°C o de 30°C; 2) pese a tener una frecuencia mediana en una de estas (28 °C y 30 °C), registra una frecuencia baja de eventos con días por sobre 25°C o bien, una frecuencia mediana de estos (25 °C), pero con pocos días arriba de 34°C.

- En los otros casos, la comuna presenta una **Amenaza mediana**.

Estas reglas se resumen gráficamente por medio de la presente **Tabla 4**.

Niveles de Amenaza		Alta Frecuencia Olas de calor > 25°		Media Frecuencia Olas de calor > 25°		Baja Frecuencia Olas de calor > 25°	
		Muchos días cálidos (>34°)	Pocos días cálidos (>34°)	Muchos días cálidos (>34°)	Pocos días cálidos (>34°)	Muchos días cálidos (>34°)	Pocos días cálidos (>34°)
Alta Frecuencia Olas de calor >30°	Alta Frecuencia Olas de calor de >28°	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
	Media Frecuencia Olas de calor de >28°	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
	Baja Frecuencia Olas de calor de >28°	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
Media Frecuencia Olas de calor >30°	Alta Frecuencia Olas de calor de >28°	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
	Media Frecuencia Olas de calor de >28°	Alta	Alta	Alta	Media	Baja	Baja
	Baja Frecuencia Olas de calor de >28°	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja
Baja Frecuencia Olas de calor >30°	Alta Frecuencia Olas de calor de >28°	Alta	Alta	Alta	Alta	Media	Media
	Media Frecuencia Olas de calor de >28°	Media	Media	Media	Baja	Baja	Baja
	Baja Frecuencia Olas de calor de >28°	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja

**Tabla 4.** Niveles de Amenaza en función de distintos indicadores de olas de calor.



### 3.1.2 EXPOSICIÓN

El supuesto fundamental que se empleó en lo que respecta a Exposición es que las comunas con mayor población corren más riesgo, pues existen más personas que pueden sufrir consecuencias de salud adversas debido a las olas de calor (Patel *et al.*, 2019; Son *et al.*, 2015). Para operacionalizar este indicador, se decidió distinguir entre los escenarios Presente y Futuro.

Para el escenario **Presente** se consideró un solo indicador, correspondiente al logaritmo de la población urbana y rural residente en cada comuna, de acuerdo con los datos del CENSO 2017. El uso del logaritmo actúa como una forma de normalización; sirve para reducir el efecto de la heterogeneidad entre comunas y hacer ‘comparables’ asentamientos de pocos miles de habitantes con ciudades de 1 millón o más, de modo de no invisibilizar a los asentamientos más pequeños.

Para el escenario **Futuro** se consideró el logaritmo de la población comunal urbana y rural proyectada para el año 2035, de acuerdo con los análisis realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2019). Ambos indicadores se convirtieron en una distribución *fuzzy* (con rango entre 0 y 1), con el fin de generar los mapas correspondientes. Cabe destacar que, en ambos casos, se usa el total de la población residente en un asentamiento, sin considerar densidad poblacional ni proporción de grupos vulnerables (esta información alimenta el mapa de Sensibilidad).

### 3.1.3 SENSIBILIDAD

Para la Sensibilidad se consideraron condiciones de sensibilidad territorial y poblacional. Con respecto a las primeras, la literatura científica (He *et al.*, 2019; Ramamurthy *et al.*, 2017; Royé & Ezpeleta, 2015) y gris (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio del Medio Ambiente & Centro de cambio global UC, 2011; Ilustre Municipalidad de Renca & ADAPT Chile, 2019) sugieren, por un lado, el impacto de las islas de calor (zonas predominantemente urbanas, en las que se registra una temperatura más elevada que en el territorio circundante)

en los efectos de las olas de calor. A su vez, las islas de calor dependen -esencialmente- del grado de *urbanización*, de la *densidad poblacional* y de la *cobertura de vegetación*. En una dirección similar, los representantes de organismos públicos, de la sociedad civil y del mundo académico entrevistados como parte de este estudio indicaron que la densidad poblacional mantiene una relación directa con la *infraestructura urbana*, pues a mayor densidad, más edificios elevados, lo que redundaría en mayores dificultades para liberar el calor en el territorio.

Por otro lado, existe evidencia que las personas que trabajan en exterior y en profesiones con alta demanda física son especialmente afectadas por las olas de calor. Esto, porque tienen una mayor probabilidad de experimentar un “shock de calor” debido a que están más expuestos a la Amenaza y a la intensidad de las ocupaciones que desarrollan (Gatto, Cabella, & Gherardi, 2016; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Ministerio del Medio Ambiente & Centro de cambio global UC, 2011; Runkle *et al.*, 2019). En el marco del presente estudio, considerar conjuntamente los efectos de islas de calor y de trabajos al aire libre permitió evaluar de manera más precisa los efectos de olas de calor, tanto en las zonas urbanas (donde se concentran las primeras) como en las rurales (donde es más común observar los segundos).

En términos poblacionales, la evidencia disponible y el conocimiento experto sugieren que la población infantil y envejecida es especialmente sensible ante los efectos de las olas de calor, debido a sus características fisiológicas (Auger *et al.*, 2017; Juhyeon & Kim, 2018; Mees, Driessen & Runhaar, 2015; Petkova *et al.*, 2015). A su vez, los grupos minoritarios de la población son vulnerables ante esta Amenaza, pues su participación en la sociedad suele estar afectada por profundas desigualdades de acceso -tanto físicas como culturales- que limitan su capacidad de buscar medios para atenuar las consecuencias negativas de las olas de calor en términos de salud de los individuos (Patel *et al.*, 2019).

Las familias con jefatura de hogar femenina que poseen población dependiente a su cargo (niños, niñas, adolescentes o personas mayores) son también particularmente



sensibles ante estos escenarios, debido a que las mujeres ocupan con frecuencia un rol subordinado en las sociedades contemporáneas, siendo, por tanto, más afectadas por desigualdades económicas, sociales y políticas (Li *et al.*, 2016; Reckien *et al.*, 2017; Schmeltz, Petkova, & Gamble, 2016).

De igual forma, una condición socioeconómica desfavorable aumenta la sensibilidad ante esta Amenaza, debido a la falta de recursos para reducir los efectos negativos de las olas de calor en términos de salud y/o para acceder a medios alternativos que mantengan el equilibrio homeostático y térmico dentro de sus viviendas (Mees, Driessen & Runhaar, 2015; Ministerio del Medio Ambiente & Centro de cambio global UC, 2011; Nicolay *et al.*, 2016; Petkova *et al.*, 2015).

La educación es también una variable relevante en relación con la Sensibilidad. La literatura coincide en señalar que la salud de los individuos con menos años de escolaridad es más afectada por las olas de calor que aquellos con un nivel de instrucción mayor, debido a 1) tienen menor información sobre alternativas que les permitan mantener su temperatura corporal a un nivel adecuado y 2) tienen mayores dificultades para insertarse exitosamente en el mercado laboral, lo que resulta en menos recursos para disminuir el impacto negativo de las olas de calor (Noelke *et al.*, 2016; Runkle *et al.*, 2019; Son *et al.*, 2015).

Por último, las personas con enfermedades preexistentes son un grupo de mayor Vulnerabilidad a los efectos negativos de las olas de calor, debida a 1) tienen una mayor dependencia respecto de la mantención del equilibrio homeostático y 2) deben utilizar sus propios recursos en la compra de medicamentos, lo que reduce sus posibilidades de contar con medios para enfrentar las olas de calor (Chung *et al.*, 2017; Ho *et al.*, 2017; Zhang *et al.*, 2017).

A partir de lo expuesto, se construyó un índice de Sensibilidad compuesto de 15 indicadores, subdivididos en cinco dimensiones<sup>3</sup> (Tabla 5)

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores se consideraron las siguientes reglas:

- **Una comuna tiene Sensibilidad alta cuando:**
  - > Presenta una isla de calor urbana y, adicionalmente, cumple con al menos una de las condiciones de sensibilidad poblacional (socioeconómica, etaria/de salud o demográfica).
  - > Cuenta con una gran proporción de empleos sensibles y, a la vez, cumple con todas las condiciones de sensibilidad poblacional.
- **Una comuna tiene Sensibilidad media cuando:**
  - > Presenta una isla de calor urbana, pero no cumple con ninguna condición de sensibilidad poblacional.
  - > Cuenta con una gran proporción de empleos sensibles, pero no cumple con una de las condiciones de sensibilidad poblacional.
- **Una comuna tiene Sensibilidad baja cuando:**
  - > No presenta una isla de calor.
  - > No cuenta con una gran proporción de empleos sensibles.
  - > No cumple con ninguna de las condiciones de sensibilidad poblacional.

Para más información respecto de los indicadores descritos, véanse las correspondientes fichas de indicadores en **Anexo 2**, al final de este capítulo.

### 3.1.4 VALIDACIÓN DE LA CADENA DE IMPACTO Y DE LOS INDICADORES

Como se mencionó anteriormente, esta cadena de impacto fue sometida a discusión con una serie de expertos del mundo de la academia, de la sociedad civil y de las políticas públicas. La inclusión de sus observaciones permitió precisar los indicadores utilizados y las reglas

<sup>3</sup> Varios de los indicadores considerados refieren a 'proporciones' de población: esto evita una doble contabilidad del número de habitantes por cada comuna (que ya informa el mapa de Exposición), centrándose en la incidencia relativa de grupos vulnerables dentro del total de la población comunal.

Sub-dimensión	Indicador	Fuente de datos
Condiciones territoriales (Isla de calor urbana)	Proporción de la población que vive en un Área Urbana Consolidada	Manzanas CENSO 2017 y Área Urbana Consolidada
	Densidad poblacional	Densidad urbana por manzanas de Áreas Urbanas Consolidadas, CENSO 2017
	Proporción de suelo con cobertura vegetal	Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014 (archivo raster)
Condiciones territoriales (empleos sensibles)	Proporción de trabajadores al aire libre y/o manuales	CASEN 2015
Condiciones de sensibilidad poblacional: socioeconómica	Incidencia de pobreza por ingreso	CASEN 2015
	Incidencia de pobreza multidimensional (5 dimensiones)	CASEN 2015
	Proporción de población con reducida educación (< 8 años de escolaridad)	CENSO 2017
	Viviendas construidas antes de 2002 (norma térmica)	Permisos de edificación
Condiciones de sensibilidad poblacional: etaria y de salud	Población de adultos mayores (> 65 años)	CENSO 2017
	Población infantil (< 5 años)	CENSO 2017
	Prevalencia de condiciones de riesgo cardiovascular	Encuesta nacional de salud (ENS) 2015-2016
Otras condiciones de sensibilidad poblacional	Proporción de hogares liderados por una mujer con población dependiente (niños, niñas, adolescentes o adultos mayores).	CENSO 2017
	Proporción población migrante (< 2 años de permanencia en el país)	CENSO 2017
	Proporción de individuos pertenecientes a pueblos originarios	CENSO 2017
	Hacinamiento (promedio de habitantes por vivienda)	CENSO 2017

**Tabla 5.** Indicadores del índice de Sensibilidad de olas de calor.

empleadas para su agregación. Específicamente, a partir de ese debate se decidió, en primer lugar, separar los indicadores de sensibilidad poblacional en las tres categorías mencionadas, debido a que aquellos juegan un efecto diferenciado en definir la Sensibilidad de la población (impacto directo en el caso de condiciones etarias y de salud, e indirecto en el caso de condiciones socioeconómicas y otras de Vulnerabilidad poblacional).

Asimismo, se relevó a partir de este proceso de retroalimentación, la importancia de dar un peso especial a las condiciones de sensibilidad territorial, las cuales tienen un efecto especialmente relevante en determinar las condi-

ciones socioecológicas frente al fenómeno (clima urbano, condiciones de trabajo y vivienda).

La discusión con expertos fue crucial para delimitar la Amenaza que se describió anteriormente, con el fin de capturar de la manera más amplia posible la heterogeneidad climática del país y las distintas posibles manifestaciones del calor extremo a lo largo de Chile.

En este contexto, es preciso discutir la distancia entre la cadena de impacto ideal y aquella que fue posible construir, en función de los indicadores disponibles:





1) Se requieren mejores indicadores para determinar las islas de calor de las ciudades del país. En este sentido, es necesario generar información sobre la calidad de arboleda urbana en una resolución lo suficientemente detallada para determinar su efecto en la disminución de las temperaturas urbanas.

2) Se necesita mayor información sobre preexistencias de condiciones de salud que aumentan las probabilidades de problemas cardiovasculares (ej. diabetes, tabaquismo). Actualmente, las estadísticas de salud impiden efectuar análisis de prevalencias de enfermedades a escala comunal y menor a esta, por lo que una mejor versión de esta cadena de impacto se podría lograr al tener un perfil más detallado de las condiciones de salud de la población.

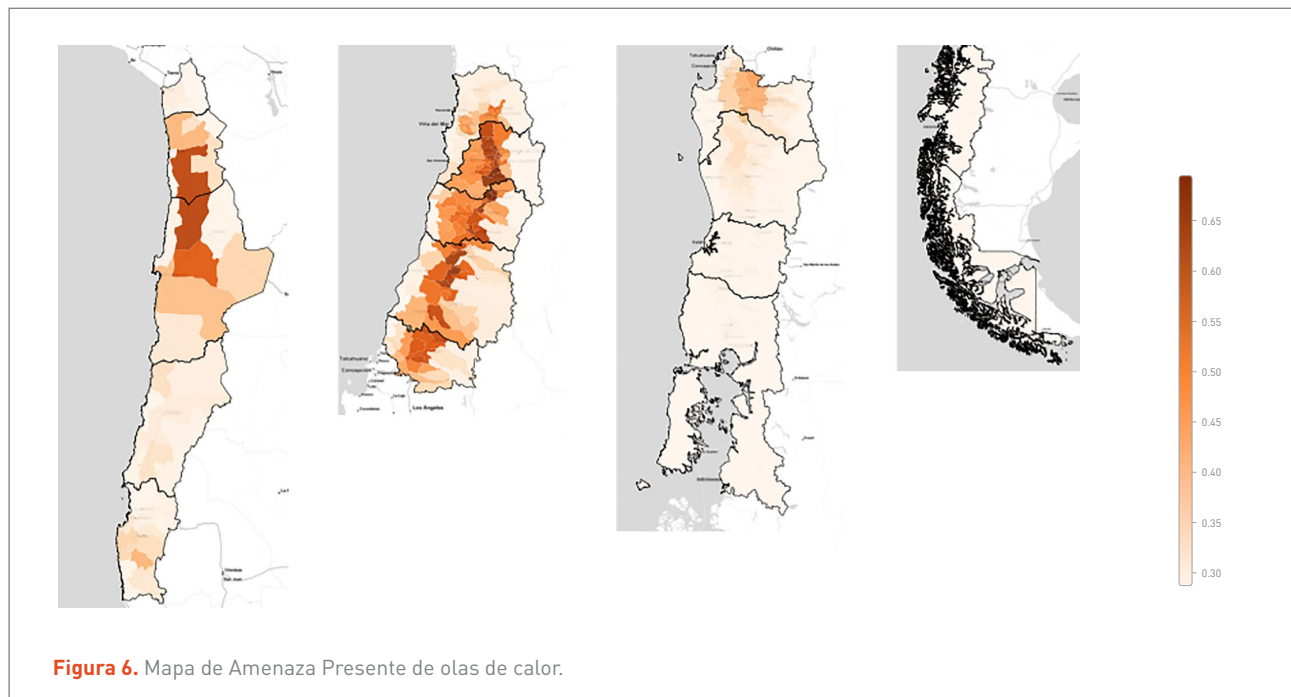
3) La información disponible sobre las condiciones de eficiencia térmica de las viviendas no permite un acercamiento comunal a escala nacional. La información de vivienda contenida en instrumentos como el CENSO 2017 y la encuesta CASEN 2015 refieren más a la dimensión de la materialidad de la vivienda (su grado de recuperación, por ejemplo) que a su capacidad para mantener confort térmico en su interior.

### 3.1.5 RESULTADOS

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas para las dimensiones de Amenaza, Exposición, Sensibilidad y Riesgo, cada una definida para los períodos Presente y Futuro, y diferencial.

El mapa de **Amenaza Presente (Figura 6)** muestra que, bajo las condiciones climáticas a las cuales estamos acostumbrados (propias del período 1980 - 2010), se observa una mayor ocurrencia de olas de calor en dos áreas: a) Norte Grande, entre las regiones de Antofagasta y de Iquique; b) zona centro-sur, entre la Región Metropolitana y la Región del Biobío. En ambos casos, el fenómeno es particularmente acentuado en los valles centrales. Las áreas meridionales, por lo general, mantienen reducidos índices de Amenaza en el escenario Presente.

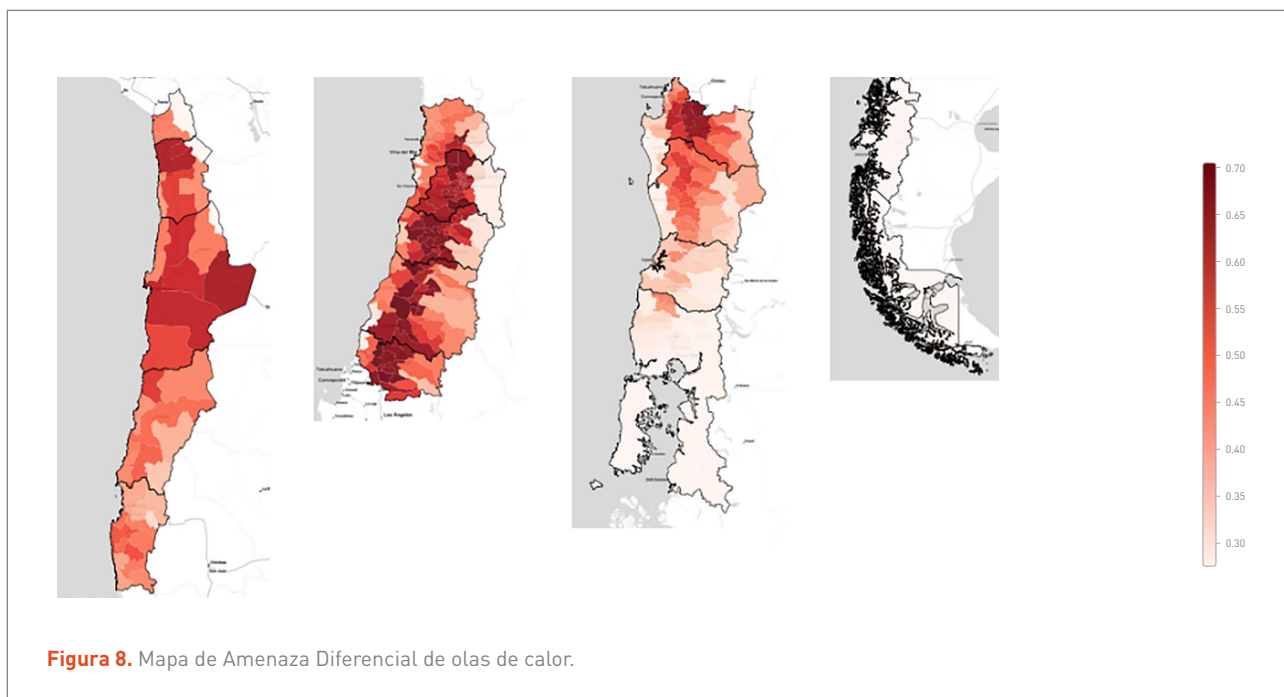
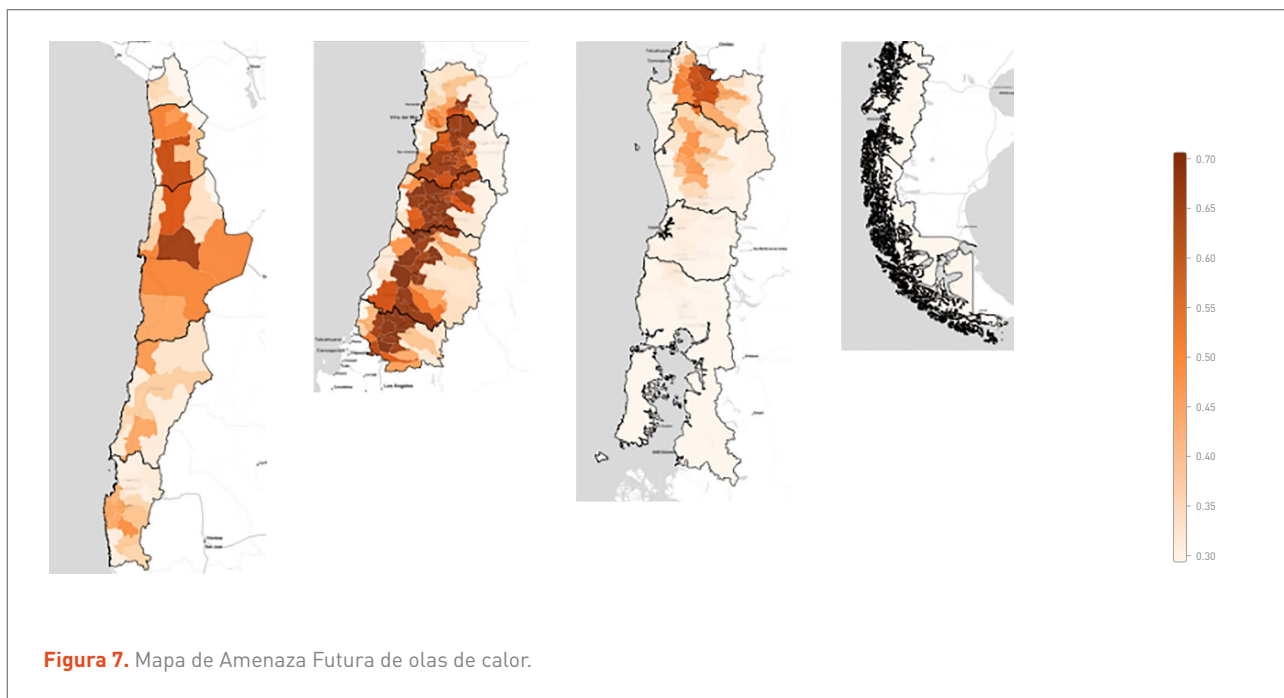
El mapa de **Amenaza Futura (Figura 7)** muestra, por lo general, una intensificación de este patrón. La Amenaza se hace más severa en todas las zonas anteriormente afectadas (sobre todo en la zona centro-sur) y se va extendiendo a regiones como La Araucanía, una parte más



amplia de la Región de Antofagasta y partes del Norte Chico (regiones de Atacama y de Coquimbo).

servar, se espera un aumento generalizado de olas de calor en todo el territorio nacional hasta la Región de Los Ríos, con incrementos particularmente marcados en la zona centro-sur (hasta el Biobío) y en el Norte Grande (sobre todo regiones de Antofagasta y de Iquique).

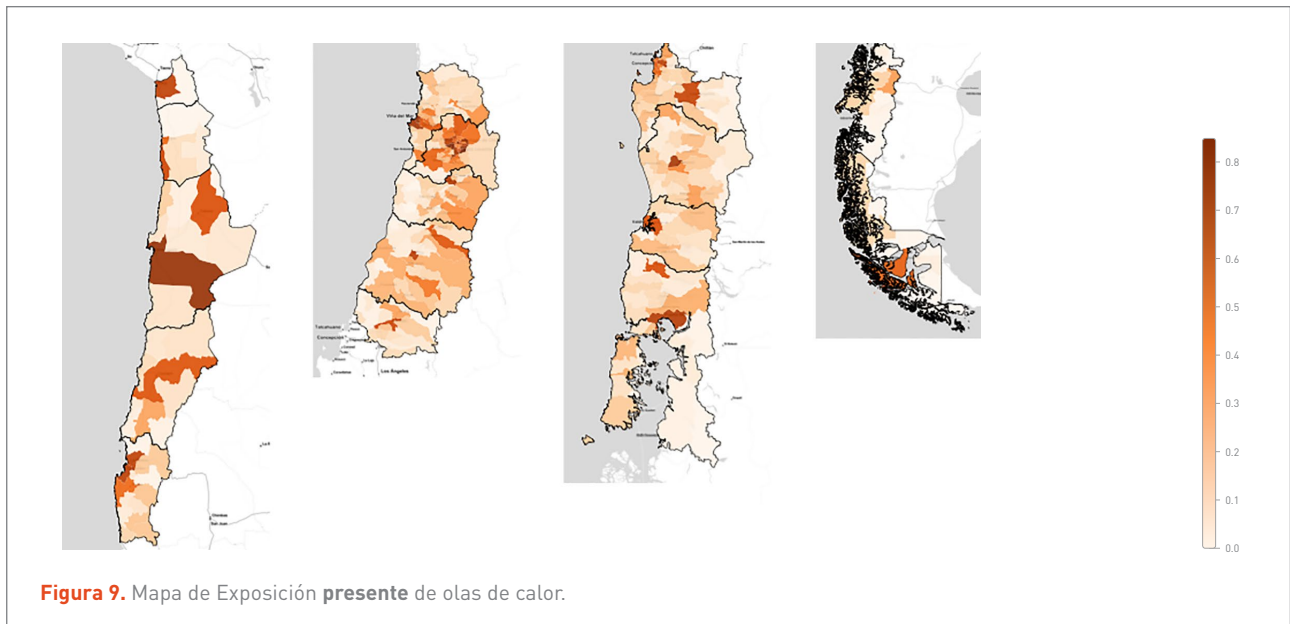
La **Figura 8** muestra como variará el nivel de Amenaza entre los escenarios Presente y Futuro: como se puede ob-



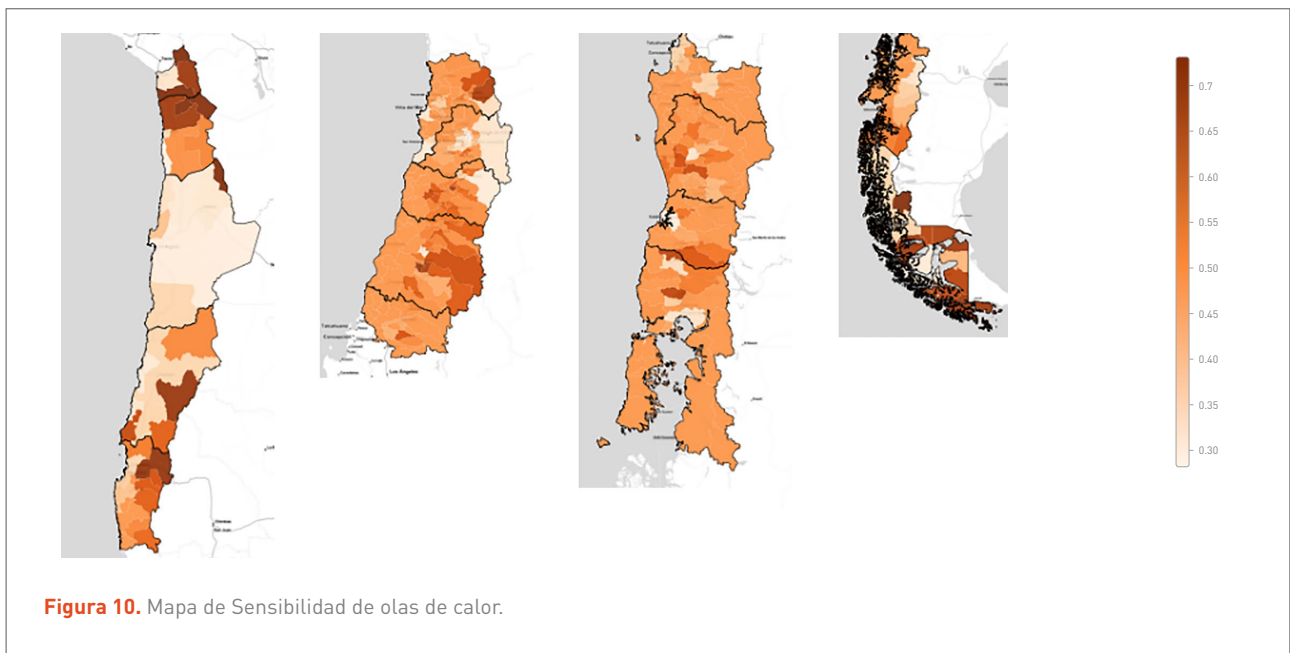


El mapa de la Exposición Presente (**Figura 9**) muestra niveles más marcados en asociación con las comunas donde se encuentra la capital regional (o provincial), en las cuales existen más personas potencialmente expuestas a condiciones de calor extremo. Además, la extensión territorial de la comuna puede también asociarse a un mayor número de habitantes. En contraste, las comunas del extremo sur del país tienden a ser menos pobladas. Es de notar que este patrón se mantiene sustancialmente inalterado en el caso de la **Exposición Futura**.

El mapa de Sensibilidad (**Figura 10**) releva las comunas con mayor susceptibilidad frente a condiciones de calor extremo en función de características poblacionales (ej. presencia de grupos vulnerables) y/o territoriales (ej. existencia de islas de calor). Estas comunas se concentran en la zona central del país, con valores máximos en los territorios donde se encuentran centros densamente poblados, proporciones importantes de población que trabaja al aire libre y concentraciones de grupos de población vulnerable.



**Figura 9.** Mapa de Exposición presente de olas de calor.

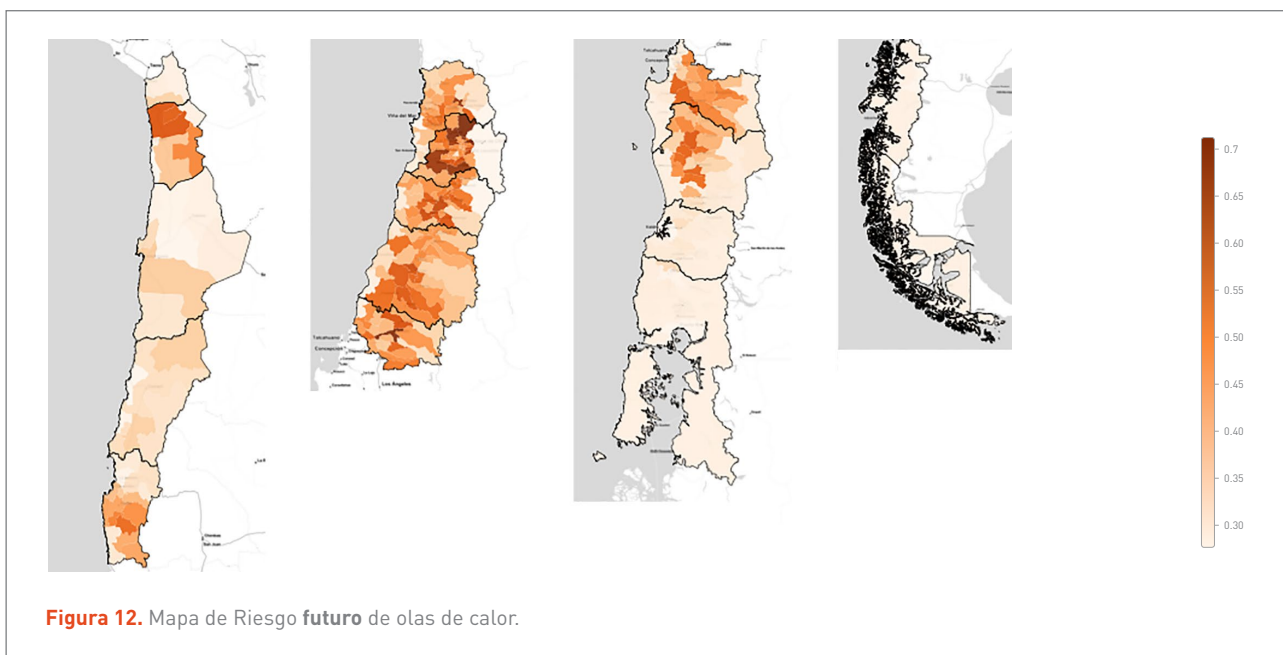
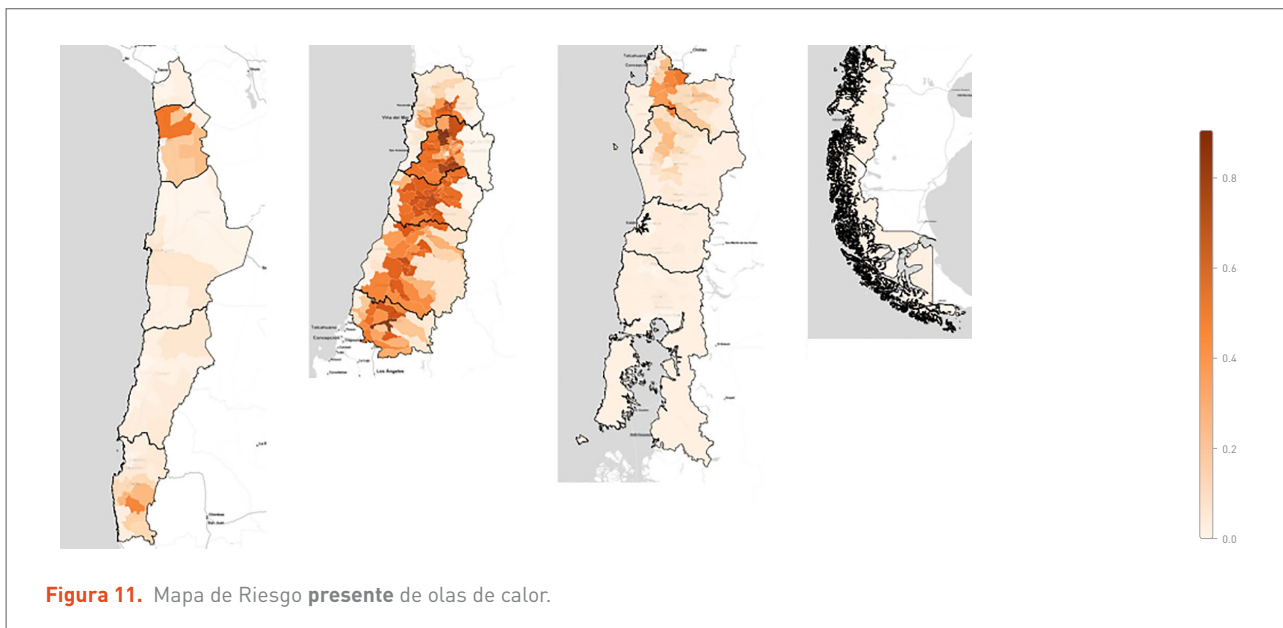


**Figura 10.** Mapa de Sensibilidad de olas de calor.



El mapa de **Riesgo Presente (Figura 11)** muestra la distribución relativa del riesgo asociado a condiciones de calor extremo, reflejando una combinación de los patrones observados en los mapas anteriores. En términos generales, el Riesgo se concentra de manera más marcada en la zona centro-sur del país, entre las regiones de Valparaíso y del Biobío, con algunas puntas de riesgo medio en las regiones de Coquimbo y de La Araucanía, y riesgo medio-alto en la Región de Iquique. Cabe notar que la Región de Antofagasta muestra condiciones de Riesgo reducidas: pese a tener

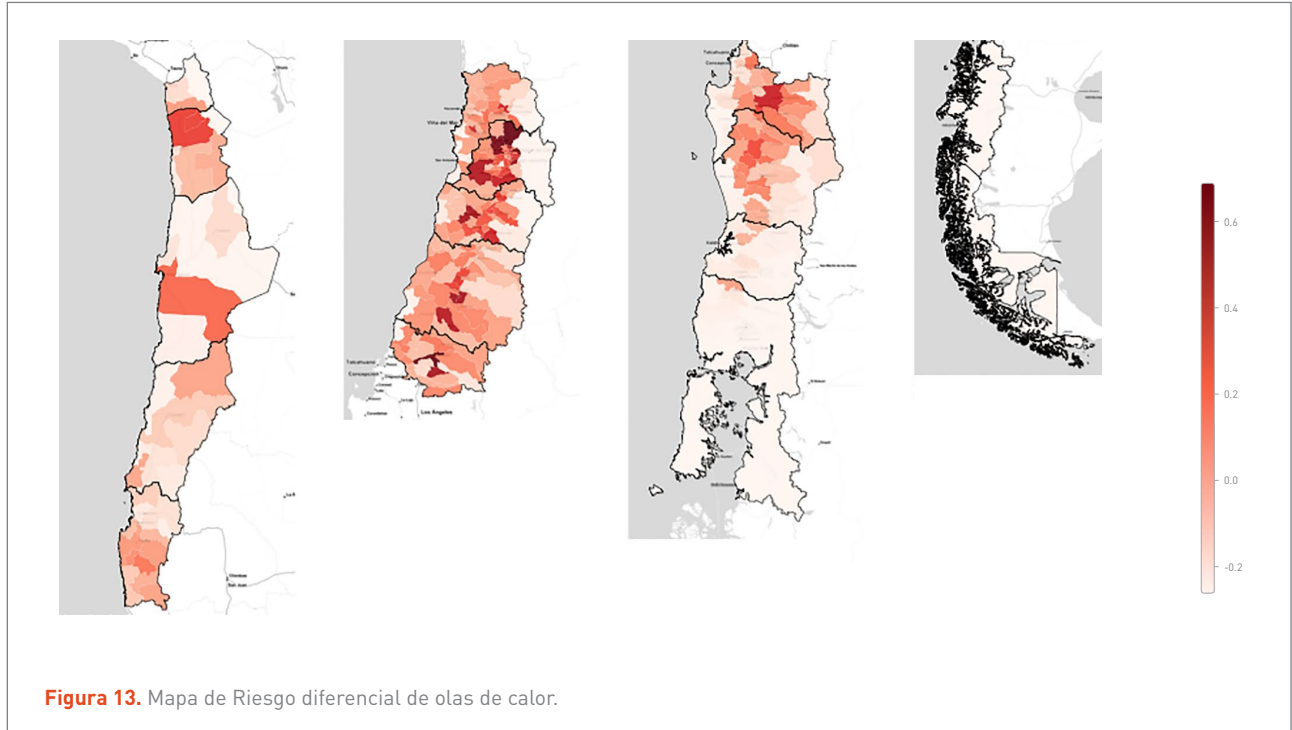
una Amenaza elevada, registra niveles bajos de Exposición y de Sensibilidad. Las áreas que quedan marcadas en color levemente más oscuro en las regiones de Antofagasta y de Atacama refieren, en particular, a comunas que concentran centros habitados importantes. Por otro lado, en la zona centro-sur, si bien Riesgo y Amenaza se concentran en los valles centrales, su distribución entre distintas comunas de la zona refleja más bien las condiciones locales de Sensibilidad y Exposición.





En el caso del **Riesgo Futuro (Figura 12)**, la distribución muestra tendencias parecidas, pero como en el caso de Amenaza, se observa una significativa extensión y profundización de este indicador hacia un número más amplio de comunas en la zona centro-sur (no solo en los valles centrales), extendiéndose por el sur, hasta la Región de La Araucanía, e incrementándose incluso en el Norte Chico, aunque en valores moderados.

Tal como lo refleja la **Figura 13**, los mayores incrementos de Riesgo se registran en la zona centro-sur y sur, y de manera especialmente marcada en la Región Metropolitana, debido al efecto combinado del incremento en Amenaza y Exposición.



### 3.2 INSEGURIDAD HÍDRICA DOMÉSTICA RURAL

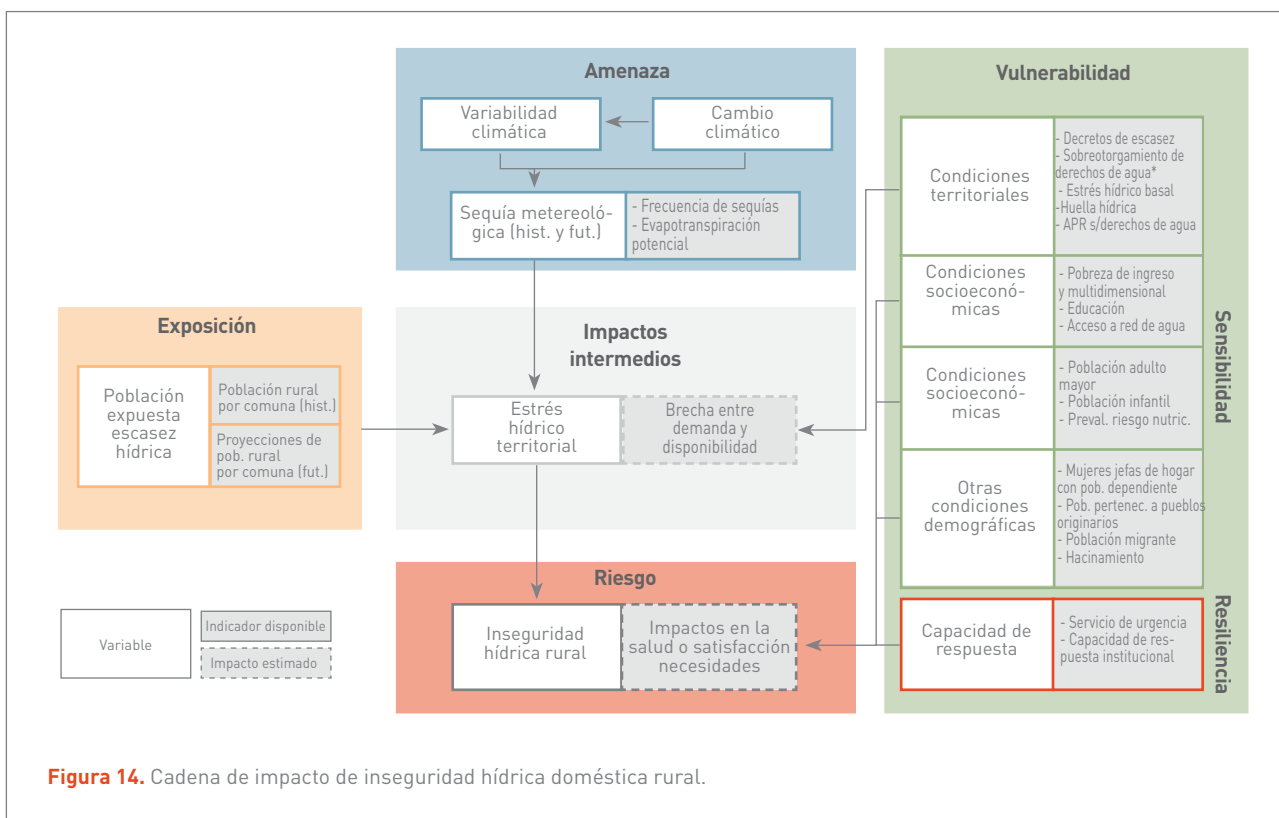
La evidencia científica disponible indica una probable reducción en los recursos renovables de agua superficiales y subterráneas, aumentos en la frecuencia e intensidad de sequías a finales del siglo XXI e, incluso, disminuciones en la calidad del agua, dada una mayor concentración de contaminantes durante la sequía (IPCC, 2014).

A nivel nacional, se ha observado la megasequía, en la cual ha prevalecido una secuencia ininterrumpida de años secos, con déficits de precipitaciones que van desde el 25 al 45% en el centro de Chile (Garreaud *et al.*, 2017). Según cálculos de la DGA (2018, 2019), la disponibilidad de recursos hídricos ha disminuido, sostenida y creciente, en 20% en la macrozona sur y en 50% en las zonas norte y centro, manteniendo la disminución en los próximos 30 años.

Por otra parte, las alzas de temperaturas e isoterma cero producen deshielos prematuros y precipitaciones líquidas

sobre la reserva nival, generando mayores escorrentías y disminuyendo las reservas de agua en la cordillera, principalmente de glaciares, que han disminuido en 8% la última década (DGA, 2018), lo cual limita las posibilidades de tener fuentes hídricas en el futuro.

En la base de estas consideraciones, en la presente cadena de impacto se analizan los impactos de la sequía meteorológica en términos de incrementos de la inseguridad hídrica doméstica de la población rural. La sensibilidad de estos asentamientos depende de diversas características de su población en relación con su acceso a agua potable y la presencia de grupos poblacionales vulnerables, además de las condiciones de inseguridad hídrica actuales predominantes en el territorio. Entre estas, se encuentra el estrés hídrico, las extracciones de agua, los aspectos normativos sobre la disponibilidad del recurso agua y características de las organizaciones de agua potable rural. Esta última dimensión recibió especial atención en la presente cadena de impacto, dada la importancia de los comités o cooperativas de agua potable.







### 3.2.1 AMENAZA

Para los fines del presente estudio, la Amenaza se define como la combinación entre la frecuencia de períodos de sequía meteorológica y el aumento de la evapotranspiración potencial. Estos dos fenómenos contienen como impacto intermedio la disminución de la disponibilidad hídrica de los asentamientos rurales de las comunas estudiadas, lo que afecta el consumo de agua potable, debido a la alta dependencia de cursos naturales de agua y la recarga de los acuíferos. El hecho de definir Amenaza exclusivamente desde las variables de precipitación y potencial de evapotranspiración posee la limitación de homogeneizar las condiciones hidrológicas y ecosistémicas de las cuencas relacionadas con cada comuna, en el

sentido de que la disponibilidad de recurso hídrico dependerá de estas últimas características. Sin embargo, para un acercamiento de este estilo se requiere una modelación hidrológica de la totalidad de las cuencas nacionales si se desea un estudio a nivel nacional, esfuerzo aún en ejercicio por diversos equipos de investigación nacionales.

Más precisamente, se utilizó el indicador de frecuencia de sequía, que corresponde a la frecuencia de períodos con menos del 75% de precipitación acumulada respecto del período de referencia y el índice de evapotranspiración potencial de Penman-Monteith, que representa la combinación de variables de insolación, temperatura, humedad relativa y viento.

Indicador	Descripción
Frecuencia de sequía	Frecuencia de períodos con menos del 75% de precipitación acumulada respecto del período de referencia.
Evapotranspiración potencial	Combinación de variables de insolación, temperatura, humedad relativa y viento.

**Tabla 6.** Indicadores del índice de Amenaza de inseguridad hídrica doméstica rural.

Ambos indicadores se obtuvieron como resultado de las modelaciones realizadas por CR2 y Meteodata, en el marco del proyecto ARCLIM para los períodos Presente (1980 - 2010) y Futuro (2035 - 2065) bajo un escenario RCP8.5 (Tabla 6 - Indicadores del índice de Amenaza de inseguridad hídrica doméstica rural).

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- Una comuna presenta una **Amenaza alta** cuando tiene una elevada frecuencia de sequía y un elevado índice de evapotranspiración.
- Una comuna tiene **Amenaza media** cuando tiene una elevada frecuencia de sequía y su índice de evapotranspiración es moderado; o al revés, cuando tiene un índice de evapotranspiración elevado y una frecuencia de sequía moderada.

- Una comuna tiene **Amenaza baja** cuando presenta valores reducidos ya sea en la frecuencia de sequía o en el índice de evapotranspiración.

### 3.2.2 EXPOSICIÓN

En lo que respecta a los ámbitos expuestos a esta Amenaza, es importante distinguir entre población rural y urbana. La presente cadena de impacto se centra en la primera categoría (para impactos de la sequía a nivel urbano, ver Inseguridad hídrica doméstica urbana).

La literatura suele relevar a la población rural como aquella que tiene mayor probabilidad de verse afectada por la falta de agua, dado que experimentan directamente la baja en la cantidad de agua de las fuentes superficiales y subterráneas; por tanto, la falta de acceso al agua (FAO, 2010; MMA, 2014; Khatibi *et al.*, 2019). Además, quienes



viven en sectores rurales suelen desarrollar prácticas tradicionales de uso del agua, como economías campesinas de subsistencia o prácticas ancestrales, que también se ven expuestas a la falta de agua (Hanke y Barkmann, 2017; Huang *et al.*, 2017).

Para operacionalizar este indicador, se decidió distinguir entre los escenarios Presente y Futuro. Para Presente, se consideró un solo indicador, correspondiente al logaritmo de la población rural residente en cada comuna, de acuerdo con los datos del CENSO 2017. El uso del logaritmo actúa como una forma de normalización, reduciendo el efecto de la heterogeneidad entre comunas y volviendo 'comparables' asentamientos de pocos miles de habitantes con ciudades de 1 millón o más, para no invisibilizar a los asentamientos más pequeños.

Para Futuro se consideró el logaritmo de la población comunal rural proyectada para el año 2035, de acuerdo con los análisis realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2019). Ambos indicadores se convirtieron en una distribución *fuzzy* (con rango entre 0 y 1), de manera de generar los mapas correspondientes.

Cabe destacar que, en ambos casos, se usa el total de la población residente en un asentamiento, sin considerar densidad poblacional ni proporción de grupos vulnerables (esta información alimenta el mapa de Sensibilidad).

### 3.2.3 SENSIBILIDAD

La Sensibilidad de la población ante la sequía fue evaluada en base a indicadores socioeconómicos y demográficos generados a partir de la información del CENSO 2017, de la Encuesta Nacional de Salud y de diferentes bases de datos públicas del Ministerio de Obras Públicas sobre aspectos del sistema hídrico.

Para este índice, se consideraron indicadores socioeconómicos y demográficos, como la proporción de niños y niñas menores de 5 años y la proporción de personas mayores de 65 años o más por comuna, ambos datos obtenidos del CENSO 2017 (INE, 2017). En efecto, de acuerdo

con la literatura científica, estos grupos etarios —debido a su relación de dependencia y por ser más propensos a enfermedades por falta en calidad y cantidad de agua (Laborde *et al.*, 2014; Kinay *et al.*, 2018; Mertens *et al.*, 2019)— son mucho más sensibles ante la escasez hídrica rural. En particular, los niños y niñas son más propensos a desarrollar enfermedades, como gastroenteritis o malnutrición, por el bajo consumo de agua potable (Mertens *et al.*, 2019); además de patologías crónicas como consecuencia del aumento de contaminantes en las fuentes de agua, debido a la disminución de su caudal (Laborde *et al.*, 2014). Considerado lo anterior, se incluyó el indicador de prevalencia de riesgo nutricional, generado a partir de la Encuesta Nacional de Salud (2015), debido a que en zonas rurales las instalaciones sanitarias y el acceso a alcantarillado determinan las condiciones de salud de la población (Wu *et al.*, 2015).

Se prestó atención a los hogares con jefas de hogar mujeres y con población dependiente (niños, niñas o personas mayores). Estos hogares tienen mayor sensibilidad a las sequías, como consecuencia de la desigualdad de género en los ámbitos del trabajo, los ingresos familiares, las condiciones de pobreza y el trabajo doméstico no remunerado (Huynh & Resurreccion, 2014; Hyland & Russ, 2019). Para obtener este indicador se consideró la proporción de hogares encabezados por mujeres, con nivel educacional secundario o menor, y donde existe presencia de población dependiente —niños y niñas de 14 o menos años o familiares directos, como padre, madre, suegro o yerna mayores de 65—, en base a la información disponible del CENSO 2017 (INE, 2017).

También se reconoció la importancia de factores de sensibilidad en un nivel institucional. En esta dimensión se incluyó en el análisis a la recurrencia de implementación de decretos de escasez y el sobre-otorgamiento de derechos de agua en una cuenca, ambos instrumentos gestionados por la Dirección General de Aguas (DGA).

En lo que respecta al primero, los decretos de escasez son aplicados en zonas del país con condiciones hidrometeorológicas de sequía y permiten un conjunto de medidas, como el suministro de agua potable mediante camiones



aljibe, la injerencia de la DGA en el uso de aguas superficiales y la liberación de recursos de emergencia destinados a la profundización de pozos para quienes tienen derechos de aprovechamiento. La recurrencia de estas condiciones es expresión de un empeoramiento de las condiciones de acceso a agua potable de parte de los hogares, de acuerdo con las condiciones establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es decir, disponibles de forma permanente y en las cantidades requeridas. En este contexto, el abastecimiento mediante la distribución por camiones aljibe es una medida especialmente precaria en términos de cantidad/continuidad y calidad del agua, además de ser costosa en términos operacionales y ambientales. Este indicador se construyó sistematizando la información que pone a disposición la DGA sobre los decretos de escasez que se han presentado desde el año 2008 hasta los que están vigentes durante el 2020, refiriendo las declaraciones que no se encuentran a nivel comunal, para poder consolidar la cantidad de decretos que han existido durante este período de tiempo.

El sobre-otorgamiento de derechos de agua es una condición reconocida por la DGA, cuando en las cuencas se ha entregado una mayor cantidad de extracciones que las posibles de cubrir por el recurso hídrico disponible, considerando sus requerimientos ecológicos. Este indicador se obtiene de las estimaciones de la DGA para los acuíferos y territorios que han sido declarados áreas de restricción y prohibición. En la presentación de esta información georeferenciada, dicha institución distingue si dentro de estas unidades territoriales existe o no sobre-otorgamiento (DGA, 2019). Posteriormente, al cruzar la información con los límites comunales fue posible identificar a las comunas que presentan áreas de restricción o prohibición y donde existe un sobre-otorgamiento de derechos.

Otro indicador de sensibilidad de carácter institucional corresponde a la proporción de organizaciones de Agua Potable Rural sin derechos de aprovechamiento; considerando como supuesto que las organizaciones que no tienen derechos de aprovechamiento están en una posición desfavorecida frente a la Amenaza de sequía, en comparación con los sistemas que sí poseen un respaldo jurídico. Este indicador se construyó utilizando los registros de Sistemas de Agua Potable Rural de la DOH y se calculó la proporción de Sistemas de APRs sin Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DDA) sobre el total de los sistemas de APR de Chile.

Finalmente, se incluyeron en la construcción de cadenas de impacto los indicadores que apuntan a visibilizar la dimensión ecológica de la Sensibilidad en cada comuna. Bajo el supuesto de que una alta demanda hídrica en una comuna, por lo general como consecuencia de actividades productivas, eleva la sensibilidad de su población ante episodios de escasez hídrica, al generar mayor competencia por el recurso hídrico (Aitken *et al.*, 2016; Fundación Chile, 2018; Jaramillo, 2017; Sušnik *et al.*, 2012; Urquiza & Billi 2018). Para esto se consideró el estrés hídrico basal estimado en el modelo global Aqueduct (2019), herramienta generada por el World Resources Institute (WRI), que analiza la razón entre los retiros y el recurso hídrico disponible. De manera similar, se consideró la huella hídrica total calculada para cada comuna (Jaramillo, 2017) como parte del trabajo de Escenarios Hídricos 2030 de Fundación Chile.

Considerado lo anterior, se construyó un índice de Vulnerabilidad compuesto de 15 indicadores, subdividido en cuatro dimensiones:



Sub-dimensión	Indicador	Fuente de datos
Condiciones territoriales	Recurrencia de implementación de decretos de escasez.	DOH
	Sobre-otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas.	Aqueduct - WRI
	Estrés hídrico basal.	Fundación Chile. Escenarios hídricos 2030.
	Huella Hídrica.	DGA
	Organizaciones de Agua Potable Rural (APR) sin derechos de aprovechamiento de agua.	DGA
Condiciones socioeconómicas	Proporción de hogares en condición de pobreza por ingreso y multidimensional.	Estimaciones MIDESO 2017
	Proporción de personas mayores de 18 años con menos de 12 años de escolaridad.	CENSO 2017
	Proporción de hogares sin acceso a red de agua potable.	CENSO 2017
Condiciones etarias y de salud	Población infantil (< 5 años).	CENSO 2017
	Población persona mayor (> 65 años).	CENSO 2017
	Prevalencia de riesgo nutricional.	Encuesta Nacional de Salud
Otras condiciones demográficas	Proporción de hogares liderados por una mujer con población dependiente (niños, niñas, adolescente o personas mayores).	CENSO 2017
	Población migrante (< 2 años de residencia).	CENSO 2017
	Población perteneciente a pueblos originarios.	CENSO 2017
	Hacinamiento (promedio de habitantes por vivienda)	CENSO 2017

**Tabla 7.** Indicadores del índice de Vulnerabilidad de inseguridad hídrica doméstica rural.

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se siguieron las siguientes reglas:

- **Una comuna tiene Sensibilidad alta** cuando:
  - > Presenta condiciones territoriales de estrés hídrico y cumple con ambas condiciones de sensibilidad demográfica (etaria/de salud y otras).
  - > Cumple con, a lo menos, una de las condiciones de sensibilidad demográfica y cumple con condiciones de sensibilidad socioeconómica.
- **Una comuna tiene Sensibilidad media** cuando:
  - > Presenta condiciones territoriales de estrés hídrico, pero no cumple con condiciones de sensibilidad socioeconómica, o bien, con alguna de las condiciones de sensibilidad demográfica.
  - > No presenta condiciones territoriales de estrés hídrico, pero cumple con las dos condiciones de sensibilidad demográfica.
  - > No presenta condiciones territoriales de estrés hídrico, pero cumple con, a lo menos, una de las condiciones de sensibilidad demográfica y también con condiciones de sensibilidad socioeconómica.
- **Una comuna tiene Sensibilidad baja** cuando:
  - > No presenta condiciones territoriales de estrés hídrico y no presenta ninguna de las condiciones de sensibilidad demográfica.



### 3.2.4 VALIDACIÓN DE LA CADENA DE IMPACTO Y DE LOS INDICADORES

Esta cadena de impacto fue sometida a discusión con una serie de expertos del mundo de la academia, de la sociedad civil y de las políticas públicas. Sus observaciones permitieron mejorar los indicadores utilizados, precisando el riesgo final que busca ilustrar la cadena mediante el cambio desde un enfoque de escasez hídrica a uno de inseguridad hídrica. Además de lo anterior, permitió hacerse cargo de la limitación de información respecto de las extracciones del recurso hídrico, complementando la cadena con las estimaciones de huella hídrica y de estrés hídrico basal, y redefiniendo la Amenaza en términos de sequía meteorológica, para dejar de lado un acercamiento basado en escasez hídrica, debido a la dificultad de realizar análisis cuantitativo con los datos disponibles.

En este contexto, es preciso discutir la distancia entre la cadena de impacto ideal y aquella que fue posible construir, en función de los indicadores disponibles a escala nacional. En primer lugar, los indicadores que buscan visualizar la situación de inseguridad hídrica en cada comuna corresponden, principalmente, a aproximaciones; en tanto, la información sobre estrés hídrico, disponibilidad del recurso, extracciones efectivas de los diferentes sectores económicos, entre otros aspectos, no se encuentran a nivel nacional y/o a escala comunal.

Respecto del indicador de estrés hídrico, en particular, es importante señalar que corresponde a resultados de un modelo global desarrollado por WRI, por lo que se deben tener en cuenta sus supuestos. Para el caso de las herramientas normativas utilizadas —como los decretos de escasez— se debe considerar que su gestión y su permanencia en el tiempo se encuentran influidas por una diversidad de variables, no solo por la disponibilidad o escasez del recurso. En efecto, la existencia de estos decretos puede ser producto tanto de la capacidad de agencia de los diferentes actores en las distintas comunas, como de la presencia en la agenda pública del problema de la escasez de agua.

Por último, se registra una carencia de información sobre la cantidad y calidad del agua provista por los sistemas de

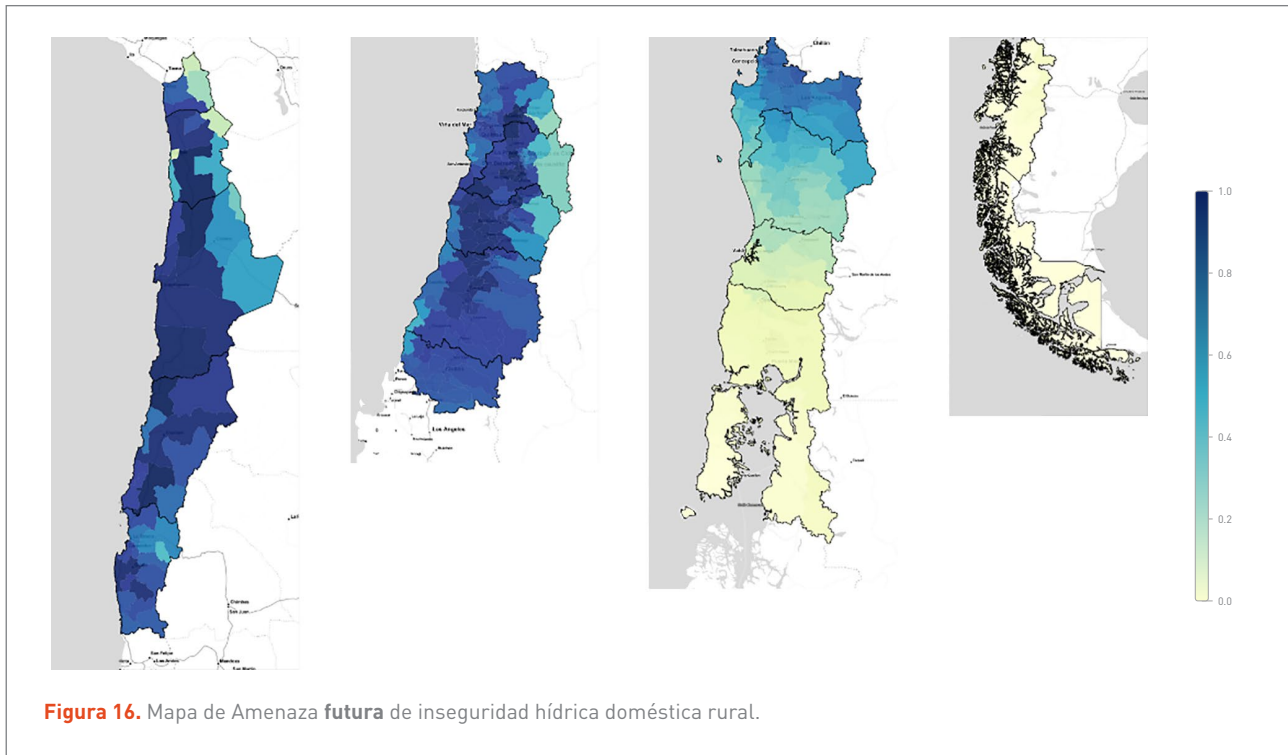
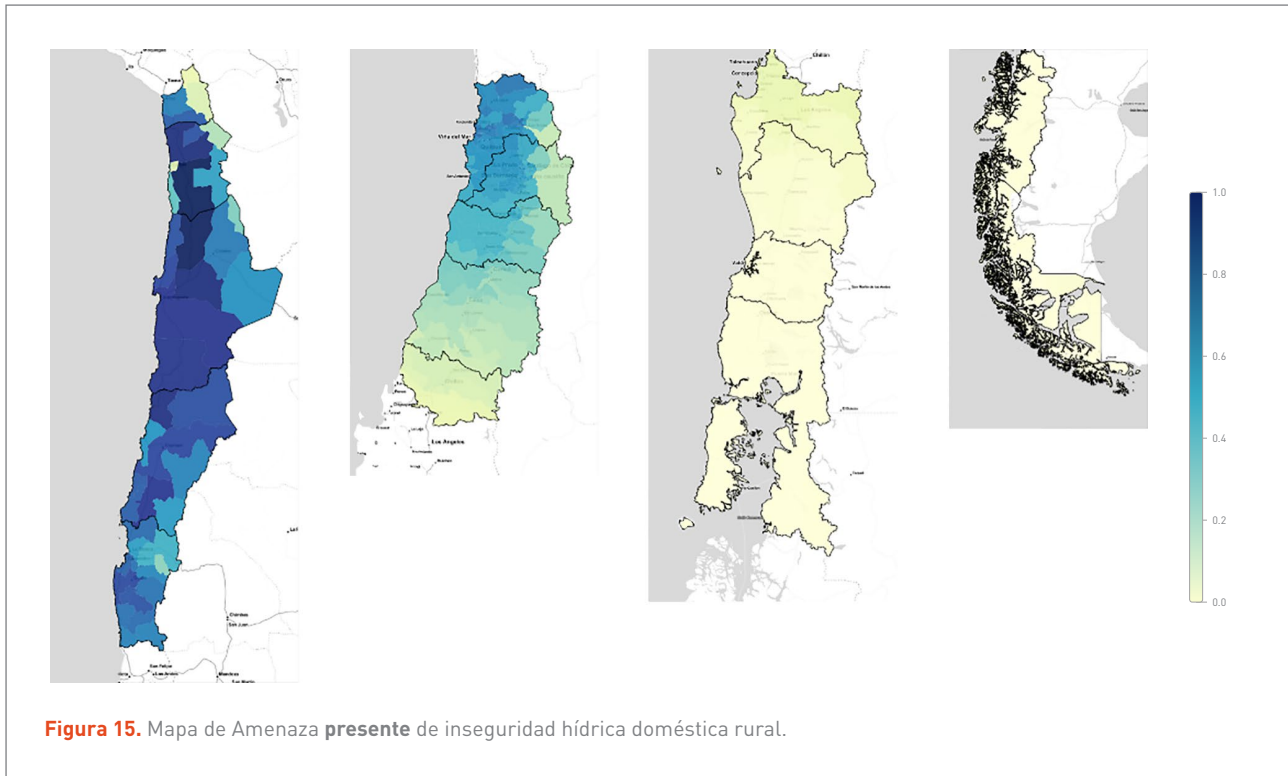
agua potable rural, disponible a nivel nacional y escala comunal. Las diferencias de funcionamiento, tamaño, acceso a recursos e inversión en infraestructura entre los sistemas de agua potable rural podrían explicar esta falta de sistematización de la información (Fuster *et al.*, 2016). Esto último dificulta, especialmente, la construcción de indicadores que logren dar cuenta de las características de Sensibilidad en cuanto la provisión del servicio. Además, es necesario precisar que la fuente de datos sobre la cual se construyó este indicador no posee todos los registros de derechos de agua del país, ya que una porción considerable de estos se encuentra registrada en los diferentes conservadores de bienes raíces a lo largo del país, dificultando su acceso a escala nacional.

### 3.2.5 RESULTADOS

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas para los componentes de Amenaza, Exposición, Sensibilidad y Riesgo, para cada comuna con asentamientos rurales. Cada uno de estos indicadores presenta un mapa para los períodos Presente y Futuro, y diferencial.

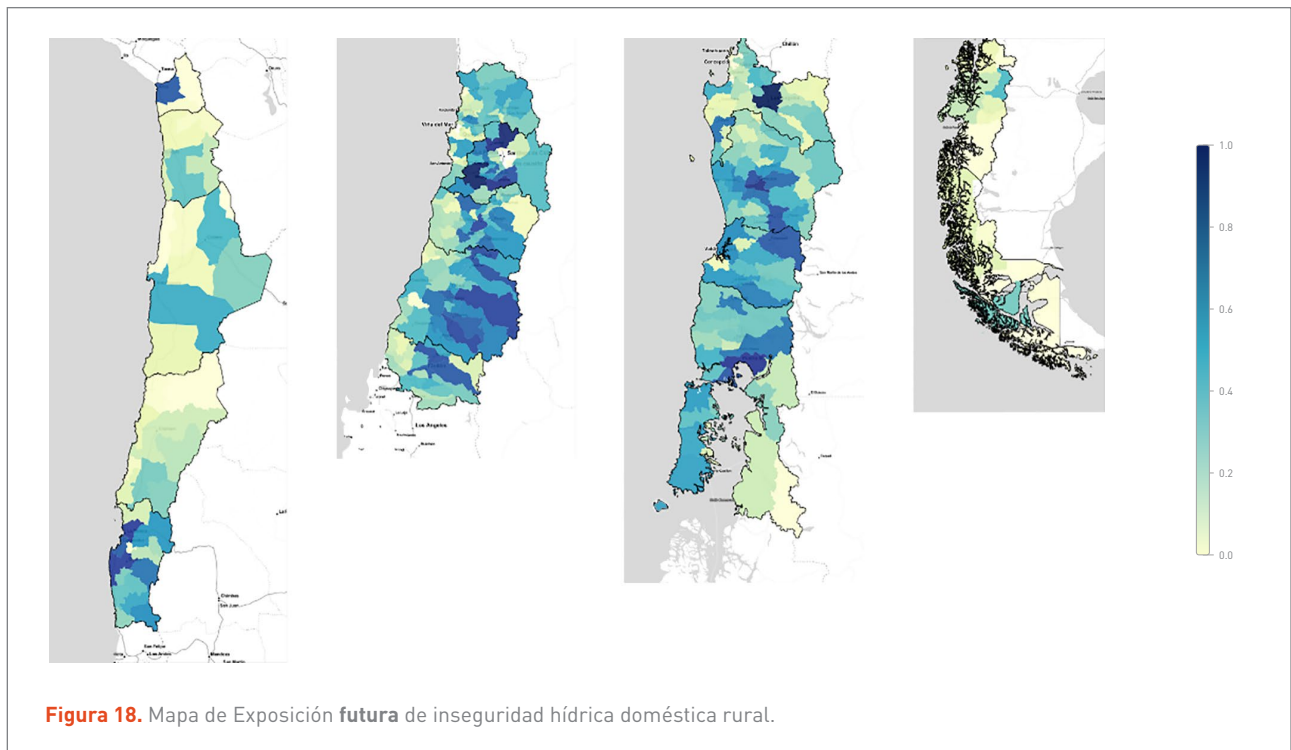
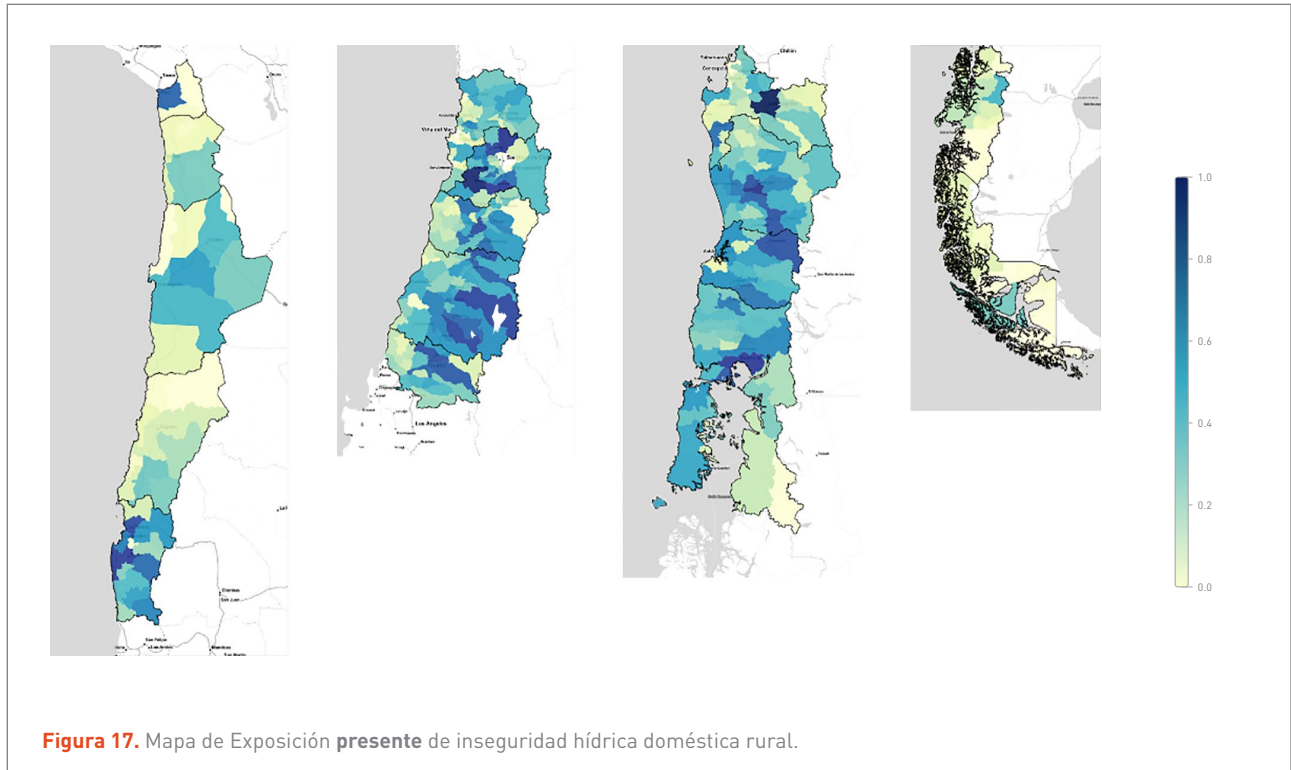
La **Figura 15** presenta los resultados de estimación de la **Amenaza Presente**. Se observa una alta ocurrencia de períodos de sequía rural en el norte de Chile, con especial intensidad desde la Región de Arica y Parinacota hasta la de Coquimbo. En el centro del país, ciertas comunas de la Región de Valparaíso, de la Región Metropolitana y de la Región O'Higgins registran Amenaza intermedia en relación con los niveles máximos del territorio nacional. Hacia el sur, especialmente desde la Región de La Araucanía a la Región de Magallanes, la Amenaza de sequía meteorológica en tiempo presente es menor comparada con la del norte, manteniendo niveles de precipitación no considerados como sequía.

La **Figura 16** muestra el mapa de **Amenaza Futura**, el cual expone los resultados utilizando el promedio del período 2035 - 2065 para las variables de frecuencia de sequía rural y potencial de evapotranspiración. Se observa que las comunas que enfrentarán una mayor frecuencia de



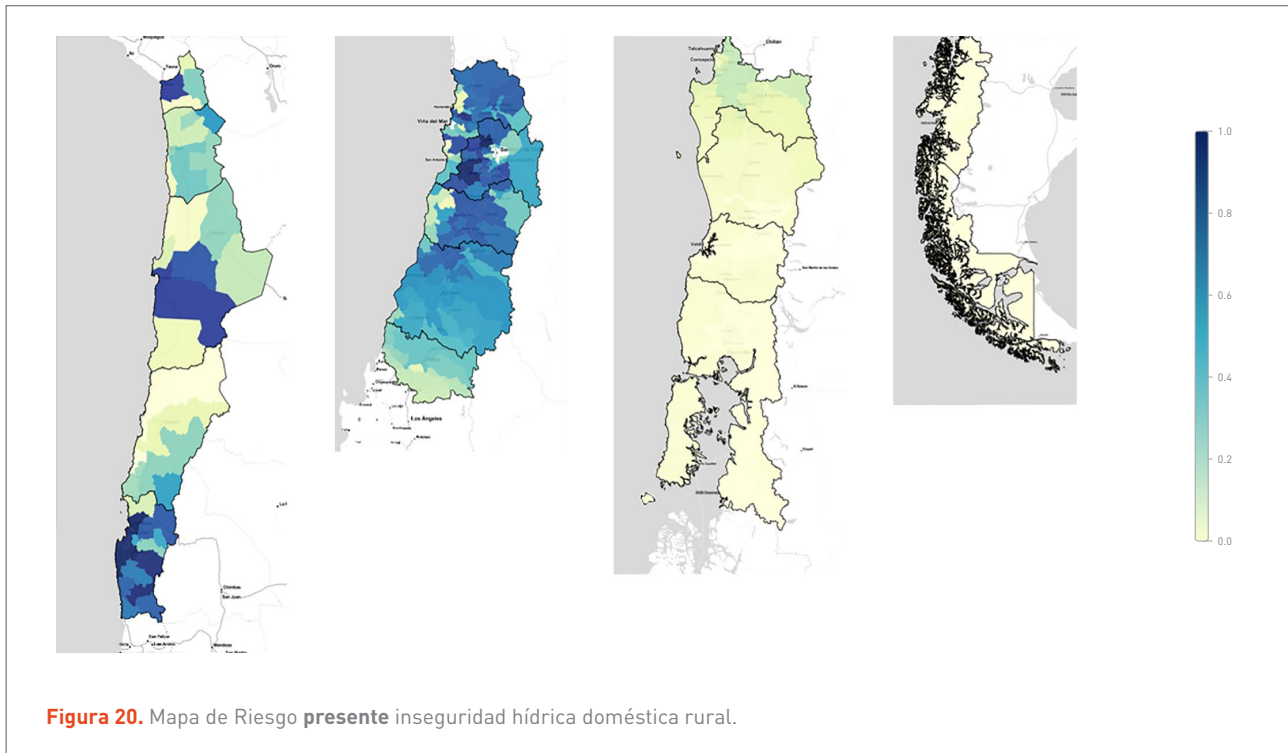
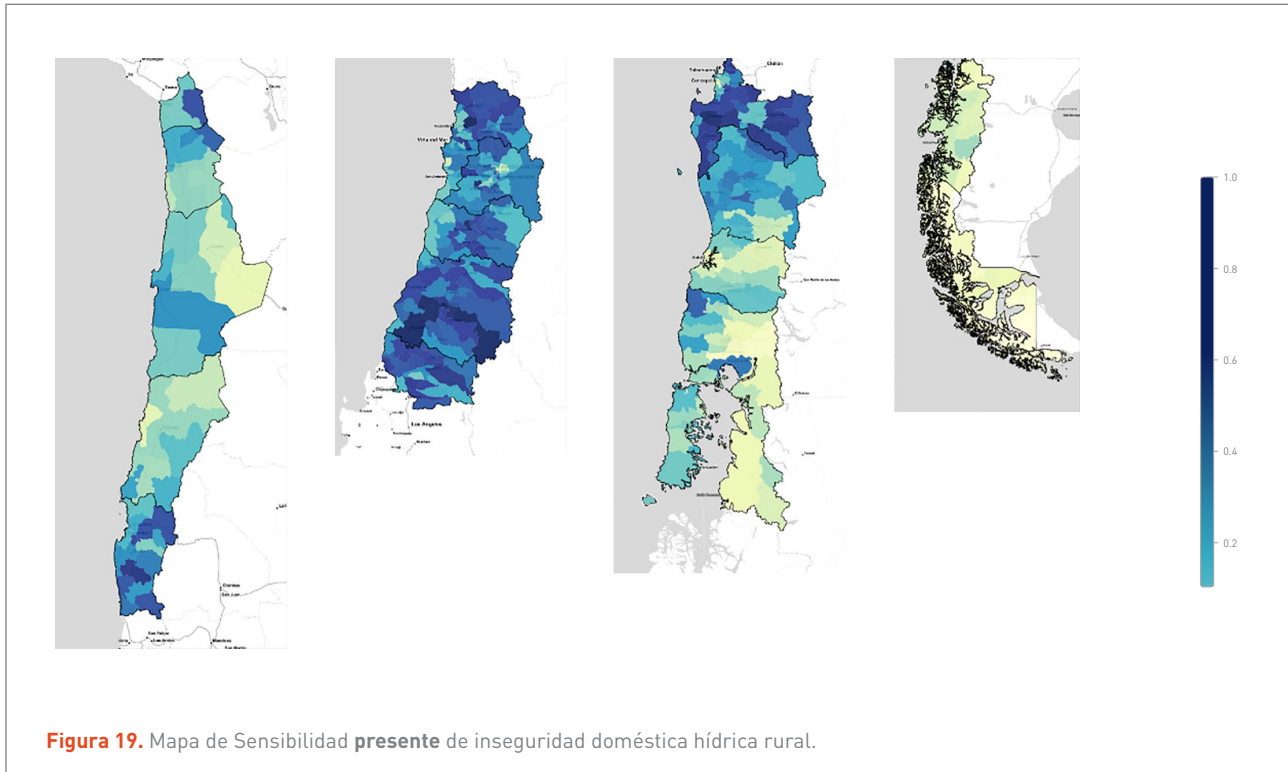
períodos de sequía meteorológica se concentran desde el norte de Chile hasta la Región de La Araucanía, al tener menos del 75% de precipitaciones anuales y una mayor evapotranspiración.





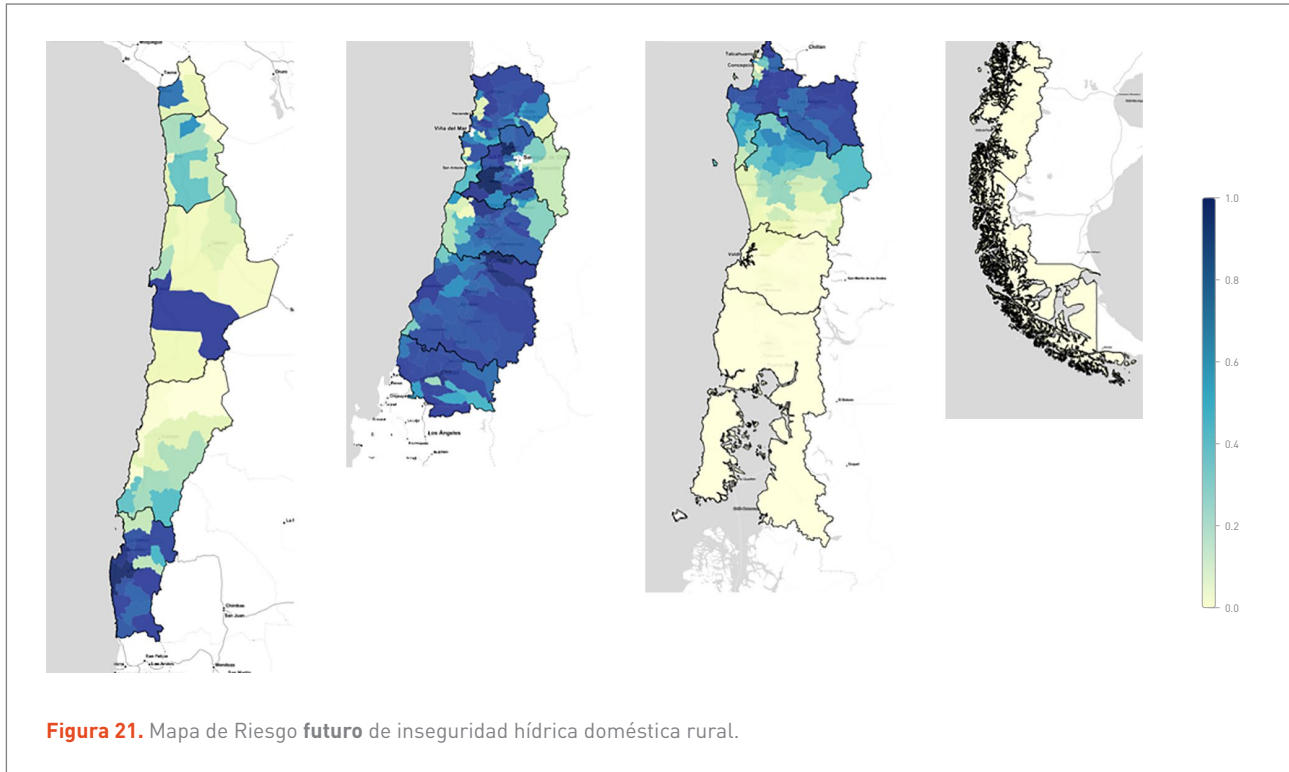
La **Figura 17** caracteriza la **Exposición Presente** ante la inseguridad hídrica doméstica rural. Se observa una mayor presencia de población rural en el centro-sur de Chile, en comparación con las comunas del norte de Chile, diferen-

cia probablemente explicada por el carácter silvoagropocuario de sus economías locales. La **Figura 18** presenta los resultados de **Exposición Futura** a las Amenazas de sequía meteorológica. En esta figura se observa una estructura



de población rural similar al tiempo presente, si bien se acentúa la Exposición de algunas comunas del sur de Chile, especialmente, aquellas ubicadas entre las regiones del Maule y de La Araucanía.

La **Figura 19** muestra que entre la Región de Coquimbo y la Región de La Araucanía se ubican las comunas con mayor Sensibilidad, particularmente, en las regiones de Valparaíso, del Maule y del Ñuble. Estas condiciones de



Vulnerabilidad se explican, en mayor medida, por la presencia de población de niños y niñas, las condiciones de explotación del recurso hídrico (huella y estrés hídrico basal), los bajos niveles de escolaridad y los efectos combinados de las desigualdades de género y étnicas con los pueblos originarios.

La **Figura 20** expone los resultados de agregación del **Riesgo Presente** de inseguridad hídrica para asentamientos rurales. Se observa que las comunas con mayor riesgo relativo se encuentran entre las regiones de Tarapacá y de O'Higgins, siendo especialmente afectados los asentamientos rurales de la Región de Coquimbo y de Valparaíso, seguido de las comunas de la Región Metropolitana y del valle central de la Región de O'Higgins. Coherente con el bajo nivel de Amenaza relativa, el sur de Chile, si bien presenta una importante población rural, registra bajos niveles de Riesgo en comparación con la zona norte del país.

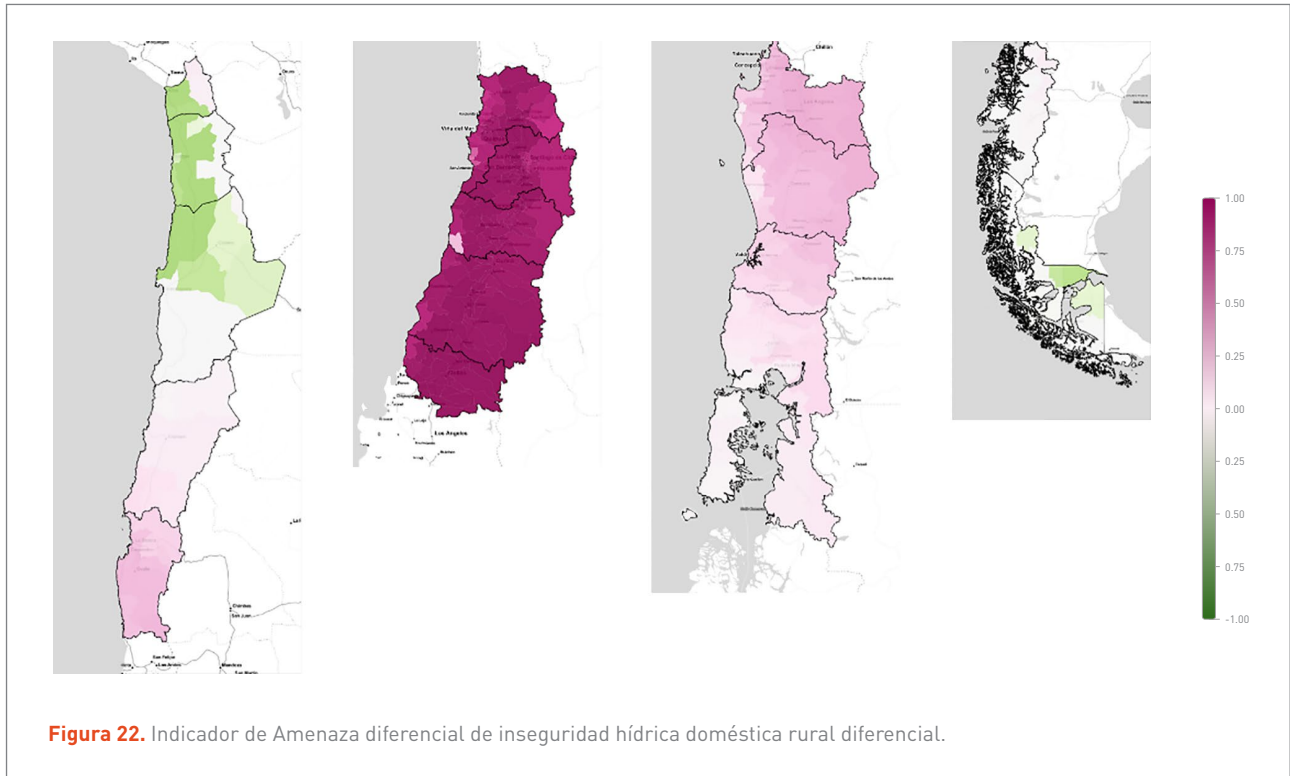
Considerando las condiciones de Vulnerabilidad del tiempo presente, la **Figura 21** expone los resultados del **Riesgo Futuro** ante la Amenaza de inseguridad hídrica doméstica rural. Se observa que la probabilidad de sequía rural se ex-

tiende con fuerza hacia las regiones del Maule, del Ñuble, del Biobío y el norte de La Araucanía, como consecuencia de la menor disponibilidad hídrica en estos territorios. A la vez, se mantienen las comunas con alta inseguridad hídrica en el centro y norte de Chile, con especial intensidad en las regiones de Coquimbo, de Valparaíso, Metropolitana y de O'Higgins.

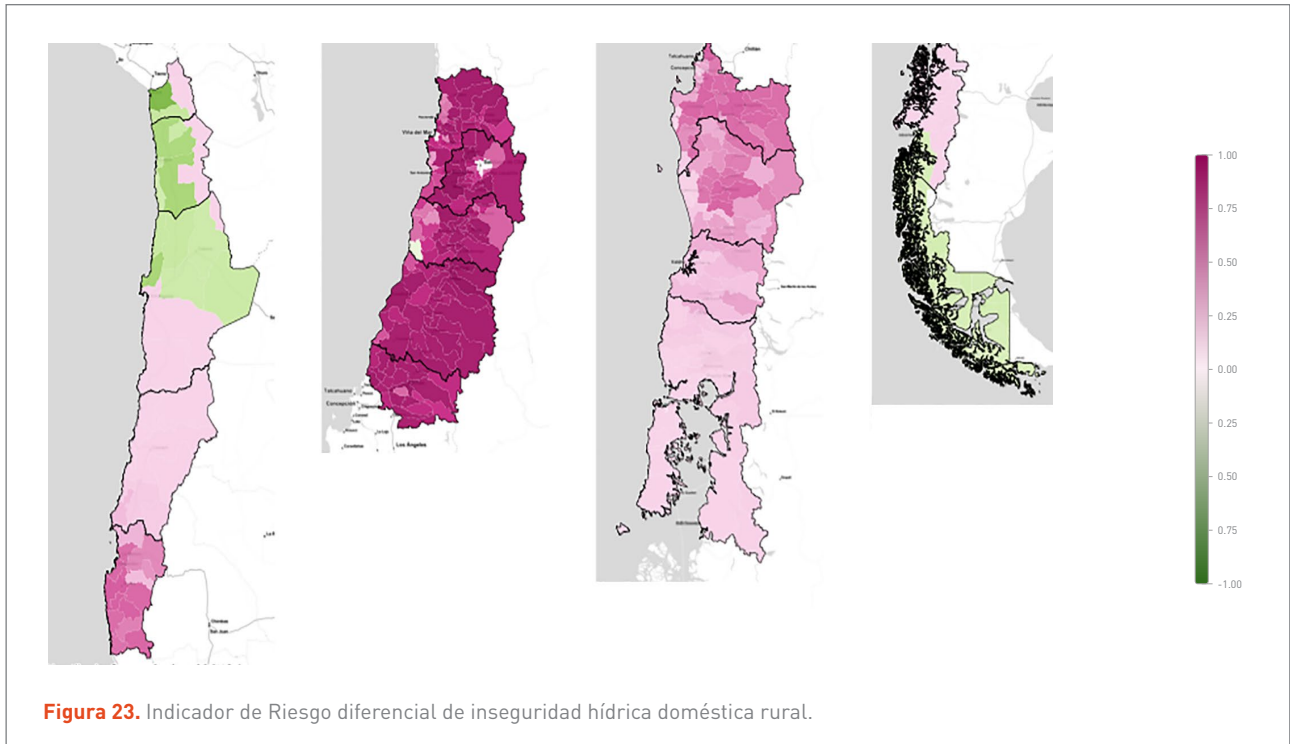
Para ilustrar el impacto del factor cambio climático se construyó una cadena de impacto a partir de la diferencia de los indicadores meteorológicos de los escenarios Presente y Futuro. En la **Figura 22** se observa que el aumento de la ocurrencia de sequía y la potencial evapotranspiración en el centro de Chile es mayor que en las otras zonas del país. Por otro lado, en algunas regiones se observa una menor intensidad del efecto cambio climático en la frecuencia de sequía, en especial, las regiones extremas del norte y sur del país.

Como consecuencia, en el análisis de Riesgo diferencial (**Figura 23**), los asentamientos rurales del centro del país, desde la Región de Coquimbo hasta la Región de La Araucanía, registran un mayor aumento relativo del Riesgo en





**Figura 22.** Indicador de Amenaza diferencial de inseguridad hídrica doméstica rural diferencial.



**Figura 23.** Indicador de Riesgo diferencial de inseguridad hídrica doméstica rural.

función del efecto cambio climático. Esta tendencia muestra especial intensidad en el centro del país, entre las regiones de Valparaíso y del Ñuble, donde el nivel de actividades

silvoagropecuarias y la cantidad de asentamientos rurales son mayores.



### 3.3 INSEGURIDAD HÍDRICA DOMÉSTICA URBANA

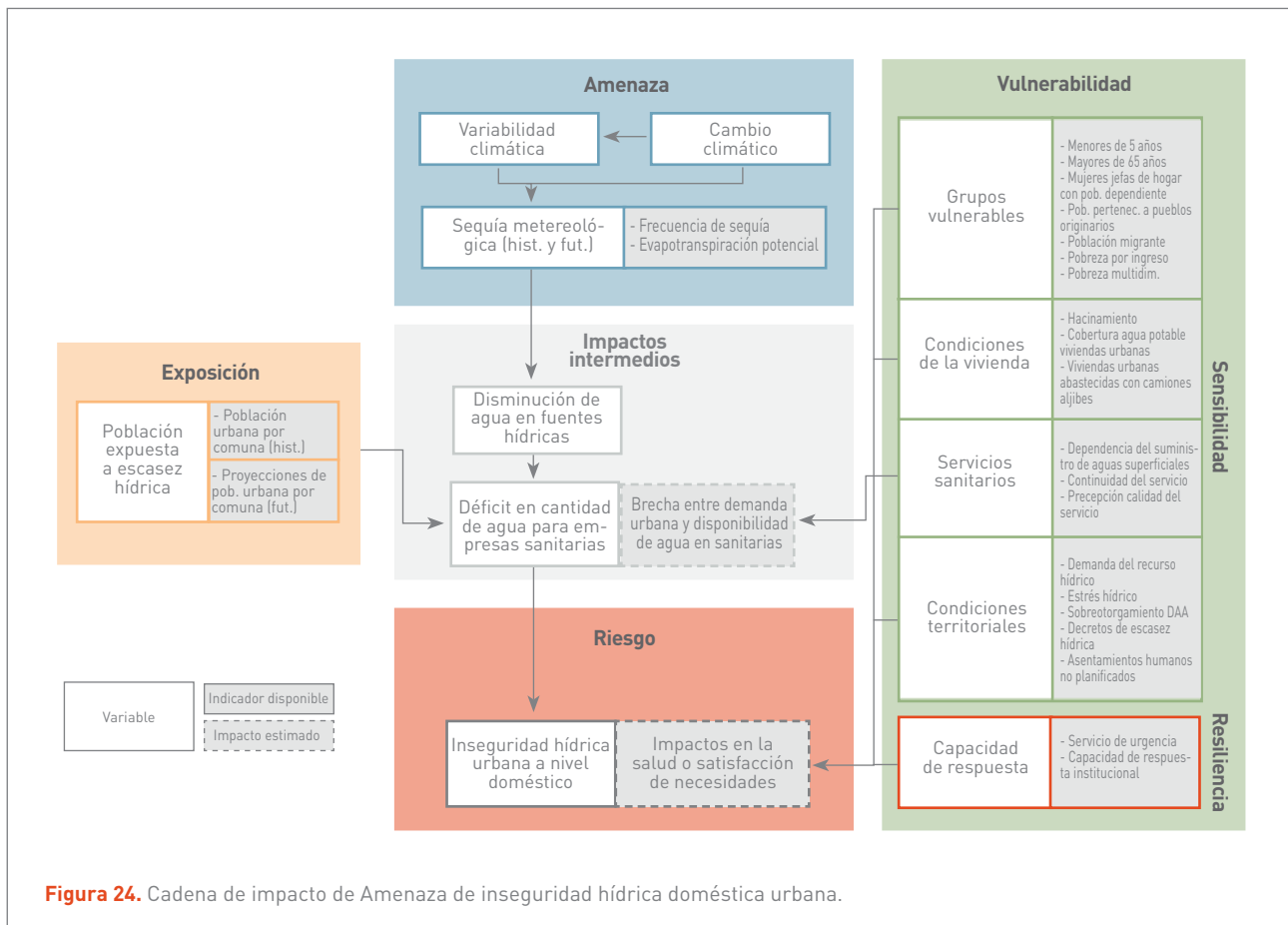
La evidencia científica disponible indica una probable reducción en los recursos renovables de agua superficiales y subterráneas, aumentos en la frecuencia e intensidad de sequías a finales del siglo XXI e, incluso, disminuciones en la calidad del agua de los entornos urbanos, como consecuencia de una mayor concentración de contaminantes durante la sequía (IPCC, 2014).

En esta cadena de impactos, la Amenaza se definió como la combinación entre la frecuencia de períodos de sequía meteorológica y el aumento de la evapotranspiración potencial. Estos dos fenómenos contienen como impacto intermedio, por un lado, la disminución de la disponibilidad de agua para las empresas sanitarias que gestionan y distribuyen el agua potable que abastece a sectores urba-

nos; por el otro, la tensión a la que están sometidas estas empresas, por la alta demanda de agua de los sectores urbanos, de manera continua y de buena calidad, tanto para residencias como para servicios de las ciudades.

Producto de lo anterior, el Riesgo es la seguridad hídrica urbana, entendida como la capacidad de las sanitarias de entregar acceso a agua potable de buena calidad y de manera continua a las viviendas de estos sectores, así como su capacidad de adaptarse a los efectos del cambio climático, en este caso, a la sequía. Para fines de esta investigación, se identificó la inseguridad hídrica a nivel doméstico en sectores urbanos como el riesgo o impacto final de esta Amenaza, como muestra la **Figura 24**.

En lo que respecta a los ámbitos expuestos, se prestó atención a la población urbana por comuna, cuya sensibilidad depende de factores relacionados con la existencia de grupos vulnerables a este tipo de Amenaza, las condiciones





de vivienda, los servicios sanitarios y las condiciones del territorio. Estos ámbitos recibieron especial consideración en la presente cadena de impacto, dado que permiten posicionar las condiciones locales de cada territorio de manera integral en la definición del grado de inseguridad hídrica que experimentan los sectores urbanos. A su vez, la resiliencia está determinada, principalmente, por la planificación y gobernanza, además de la capacidad de las empresas sanitarias —en este caso— de adaptarse a la falta de agua y contar con diversidad de fuentes, planificación ante sequías y cambio climático, horas de autonomía del sistema, entre otros<sup>4</sup>.

A continuación, se ofrece más información sobre los indicadores utilizados para operacionalizar esta cadena de impacto.

### 3.3.1 AMENAZA

Para fines del presente estudio, la Amenaza se definió al igual que en la cadena anterior. Se utilizó el indicador de frecuencia de sequía, que corresponde a la frecuencia de períodos con menos del 75% de precipitación acumulada respecto del período de referencia, y el índice de evapotranspiración potencial de Penman-Monteith, que representa una combinación de las variables insolación, temperatura, humedad relativa y viento.

Ambos indicadores fueron obtenidos como resultado de las modelaciones realizadas por CR2 y Meteodata, en el

marco del proyecto ARCLIM, para los escenarios Presente (1980 - 2010) y Futuro (2035 - 2065) bajo un escenario RCP8.5 (**Tabla 8**).

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- Una comuna presenta una **Amenaza alta** cuando tiene una elevada frecuencia de sequía y un alto índice de evapotranspiración.
- Una comuna tiene una **Amenaza media** cuando registra una elevada frecuencia de sequía y cuenta con un índice de evapotranspiración moderado; o al revés, tiene un índice de evapotranspiración elevado y una frecuencia de sequía moderada.
- Una comuna tiene una **Amenaza baja** cuando presenta valores reducidos, ya sea en la frecuencia de sequía o en el índice de evapotranspiración.

### 3.3.2 EXPOSICIÓN

Para la Exposición se consideró a la población urbana residente en cada comuna, debido a que la escasez hídrica supone una Amenaza para los suministros domésticos de agua potable fundamentales para la vida humana. En este sentido, como apunta la literatura especializada y gris revisada, la escasez hídrica implica un deterioro en sus condiciones de salud mental y física, así como en sus

Indicador	Descripción
Frecuencia de sequía	Frecuencia de períodos con menos del 75% de precipitación acumulada respecto del período de referencia.
Evapotranspiración potencial	Combinación de las variables insolación, temperatura, humedad relativa y viento.

**Tabla 8.** Indicadores de índice de Amenaza de inseguridad hídrica doméstica urbana.

<sup>4</sup> Nota: en esta etapa, el análisis se limitó a los índices Amenaza, Exposición y Sensibilidad, empleando para la Resiliencia solo una aproximación limitada a la Capacidad de respuesta (presentada en el apartado Construcción de índices de Riesgo). Tal como fue indicado en la nota 1, sin embargo, actualmente se está trabajando en una aproximación más integral a la resiliencia.



viviendas y muchas de sus actividades económicas (Hejduková & Kureková, 2020; Kanae, 2009; Tarrass & Benjelloun, 2011). En territorios urbanos, particularmente, la tendencia del crecimiento poblacional, el aumento de la contaminación, los cambios en estilos de vida y la acelerada urbanización ampliarán la brecha entre la demanda de agua y el suministro disponible (Dos Santos *et al.*, 2017).

La evaluación de la Exposición utilizó un solo indicador para el escenario Presente, que corresponde al logaritmo de la población residente en cada comuna, de acuerdo con los datos del CENSO 2017 (INE, 2017). El uso del logaritmo actúa como una forma de normalización; sirve para reducir el efecto de la heterogeneidad entre comunas y hacer ‘comparables’ a los asentamientos de pocos miles de habitantes con las ciudades de 1 millón o más, de manera de no invisibilizar a los asentamientos más pequeños.

En el escenario Futuro se consideró el logaritmo de la población comunal proyectada para el año 2035, de acuerdo con los análisis realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2019). Debido a que la proyección poblacional desarrollada por el INE estima la población comunal total y al desconocimiento respecto de los cambios demográficos entre asentamientos urbanos y rurales, se optó por mantener la proporción de población urbana observada en el CENSO del año 2017.

Ambos indicadores —Presente y Futuro— se convirtieron en una distribución *fuzzy* (con rango entre 0 y 1), con el fin de generar los mapas correspondientes.

### 3.3.3 SENSIBILIDAD

El análisis de Sensibilidad tiene las mismas condiciones presentadas en inseguridad hídrica rural, respecto de la presencia de grupos vulnerables (adultos mayores de 65 años o más y niños menores de 5 años) y mujeres jefas de hogar.

Al igual que en el caso rural (ver Inseguridad hídrica doméstica rural), la Sensibilidad de la población ante la sequía en sectores urbanos depende, fuertemente, de la presencia de grupos vulnerables, expresados como la proporción de

niños menores de 5 años y la proporción de adultos mayores (65 años o más) por comuna. Esto responde a su mayor propensión a desarrollar enfermedades por el bajo consumo de agua (Mertens *et al.*, 2019) o el consumo en malas condiciones (Laborde *et al.* 2019). Ambos datos demográficos fueron obtenidos del CENSO 2017 (INE, 2017).

Se debe sumar que las mujeres jefas de hogar suelen ser más sensibles a la sequía, tanto en el sector urbano como en el rural. Además de ver imposibilitadas las tareas domésticas y de cuidado (estrechamente vinculadas con el uso del agua en los hogares), sus familias —*por ser habitualmente monoparentales*— son más dependientes a trabajos precarios o informales y, por tanto, a tener mayores niveles de pobreza (Huynh & Resurreccion, 2014; Hyland & Russ, 2019). Para obtener este indicador, se consideraron los mismos datos que en Inseguridad hídrica doméstica rural.

Otra variable identificada como relevante en la Sensibilidad ante la Amenaza de la inseguridad hídrica doméstica urbana es la pertenencia a un grupo minoritario, como etnias y migrantes, los que son señalados por la literatura científica como especialmente afectados por la desigualdad social y económica. Lo anterior se traduce en un mayor riesgo de enfrentarse a condiciones de vida sin acceso a servicios de agua potable, salud, higiene, etc. (Ge *et al.*, 2019; Rahaman *et al.*, 2018). Por tanto, se consideró la población migrante y aquella perteneciente a los pueblos originarios como parte de este análisis.

Se reconoce a la pobreza de la población como un factor que agudiza la Vulnerabilidad de ciertos grupos frente la sequía, la que fue evaluada en términos de pobreza por ingresos y de pobreza multidimensional, según la base de datos de la encuesta CASEN 2017. Dicha población tiene menos posibilidades de optar a mejoras en su acceso al agua potable (en términos de infraestructura o artefactos) (Adams *et al.*, 2020) o bien, de acceder a mecanismos alternativos, como la compra de agua embotellada, lo cual puede incentivar su participación en mercados no oficiales/mercado negro, donde no existe regulación en términos de calidad del agua. Cabe destacar que el agua embotellada “certificada” es considerablemente más





costosa y la limitación en su adquisición puede promover el acceso mediante técnicas inseguras o a través de la compra de agua potable distribuida por camiones aljibe (Jené, 2008).

En esta misma línea, se detallan los elementos relacionados con la sensibilidad de las viviendas. El hacinamiento es identificado como una condición de base que expresa la sensibilidad y la manera desigual en que se posicionan ciertos grupos frente a Amenazas relacionadas con el cambio climático (Rahman *et al.*, 2019; Scovronick, Lloyd, & Kovats, 2015). Para obtener este indicador, se promedió la cantidad de personas por el total de habitaciones en la vivienda, según los resultados de la encuesta CENSO (INE, 2017).

Otro factor, también relacionado con la sensibilidad de las viviendas, corresponde a la cobertura de agua potable en sectores urbanos. Si bien el abastecimiento está, por lo general, asegurado en estos sectores por la gestión de empresas sanitarias, se identificó que existen viviendas que no tienen acceso al agua potable. Esto se explica con los límites difusos de las ciudades y la precaria planificación territorial en sectores periféricos de zonas urbanas, que no permiten tener infraestructura de distribución ni saneamiento apropiado, obligando a su población a buscar alternativas de abastecimiento (Ahmed *et al.*, 2016; MOP, 2020). En este caso, se calculó el porcentaje de viviendas urbanas (INE, 2017) que están fuera del territorio operacional de la(s) sanitaria(s) que abastece(n) las comunas del país (SISS, 2019). Por otra parte, se utilizó el porcentaje de viviendas urbanas (INE, 2017) que están siendo abastecidas por camiones aljibe, según los resultados de la encuesta CENSO 2017 (INE, 2017). Esto, porque los camiones aljibe son considerados por la literatura como un suministro intermitente y potencial transmisor de enfermedades, lo que puede poner en riesgo la vida de las personas (Kumar *et al.*, 2013; Yenneti *et al.*, 2016).

Ampliando la escala de análisis, se consideró también la sensibilidad del servicio que entregan las empresas sanitarias. Se debe tener en cuenta que las empresas sanitarias producen agua proveniente de captaciones superficiales y subterráneas, que es tratada y, luego, distribuida a las viviendas; y que, en contextos de sequía,

las empresas sanitarias que dependen, principalmente, de producción superficial son más sensibles que las que dependen de fuentes subterráneas. Esto se debe a que, si bien la sequía meteorológica es una Amenaza que afecta a todas las fuentes de agua, existen condiciones, como la evapotranspiración y la temperatura del aire, que influyen en mayor magnitud en las fuentes de agua superficiales y que las vuelven más sensibles a la sequía respecto de las fuentes de agua subterránea (Gampe, *et al.*, 2016; Rekha *et al.*, 2011). Para obtener la información de esta variable, se calculó la proporción de agua producida superficialmente (miles de m<sup>3</sup>) sobre el total de agua producida por cada sanitaria, según la información que proporciona la SISS (2019).

En el mismo sentido, la continuidad del servicio es un elemento relevante para analizar en épocas de sequía, ya que las discontinuidades en la entrega aumentan el riesgo de contaminación del agua, principalmente, en sistemas de distribución por tuberías. Esto, ya sea por el ingreso de contaminantes o por la concentración y arrastre de partículas contaminantes una vez que se recupera el servicio (Jené, 2008). Para este estudio, se utilizó el indicador de continuidad del servicio de agua potable elaborado por la SISS (2017), que considera factores como la cantidad de cortes de agua potable (programados y no programados), roturas de matrices, clientes afectados por interrupciones no programadas y duración de cortes no programados.

Otro elemento es la escasez perceptual del agua, que puede ser agravada por la sequía, ya que cualquier tipo de alteración hídrica (disminución, en este caso) en los puntos de captación, planta de tratamiento o distribución del agua potable, puede verse reflejado en la calidad del agua potable que reciben los hogares. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha relevado que la seguridad hídrica domiciliar requiere garantizar una calidad suficiente del agua: además de ser inocua, debiera tener aspecto, sabor y olor aceptables; de lo contrario, los consumidores pueden rechazarla y optar por alternativas más riesgosas (OMS, 2006). En este sentido, se habla de escasez perceptual referido a la percepción de la escasez de agua (Fragkou & McEvoy, 2016; Shomar & Hawari, 2017), frente a lo cual se hace necesario generar mejoras en el servicio de



abastecimiento de agua potable en alguna de sus etapas, que limiten los problemas de calidad, agravados en condiciones de cambio climático. Considerado lo anterior, se prestó particular atención a la percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio de agua potable.

Finalmente, es importante señalar que existen condiciones territoriales que influyen fuertemente en la sensibilidad de la población ante la sequía. La literatura especializada sugiere que el crecimiento de las ciudades genera un aumento poblacional, de actividades y servicios que necesitan agua de manera continua para su desarrollo (Opher *et al.*, 2019; Van Leeuwen *et al.*, 2016). En zonas urbanas, este aumento de población y el limitado acceso a la vivienda se traduce en la emergencia de asentamientos humanos no planificados, cuya falta de amparo legal limita ulteriormente el acceso a fuentes de abastecimiento de agua (Adams *et al.*, 2020; Dos Santos *et al.*, 2017). Para integrar esta variable, se consideró la presencia de campamentos por comunas, según la información del Catastro Nacional de Campamentos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2019).

También en el plano de condiciones territoriales, se identificaron tres variables que contribuyen a explicar el estrés hídrico que se registra en diferentes zonas, donde se produce la sobreexplotación de las fuentes de agua por grupos e intereses particulares y que en épocas de sequía limitan aún más el acceso de otros usuarios, aumentando el número de conflictos en torno al control y la gestión de las fuentes de agua (Fuster *et al.*, 2017; Susnik *et al.*, 2012).

En primer lugar, se prestó atención a la demanda de agua, considerando en particular la huella hídrica total de la comuna por usos productivos y sanitarios, en la medida de que una alta demanda hídrica en los suelos productivos aumenta la sensibilidad de la población ante episodios de escasez hídrica (Aitken *et al.*, 2016; Sušnik *et al.*, 2012; Urquiza & Billi, 2018). Para este indicador se utilizó la información a nivel comunal publicada en el Informe “Aplicación de la metodología de contabilidad de huella hídrica directa a 15 regiones de Chile”, desarrollado por el BID y Fundación Chile en 2017.

En segundo lugar, se analizó el estrés hídrico, el cual suele generar como respuesta política la emisión de decretos que limitan o restringen el otorgamiento de derechos de agua en esos territorios; como resultado, solo pueden extraer agua quienes ya cuentan con esos derechos (CR2, 2015; Urquiza & Billi, 2018; Vergara, 2015). Para evaluar esto, se utilizó el estrés hídrico de Aqueduct (2015), que considera la razón entre los retiros y el flujo disponible, según la base disponible en World Resources Institute (WRI).

En tercer lugar, se consideró que los habitantes de estas zonas poseen un mayor grado de sensibilidad en escenarios de escasez hídrica, dado que la sobreexplotación limita una demanda hídrica creciente, la cual -a su vez- genera una mayor carga en el sistema. Para operacionalizar esta variable se utilizó la declaración sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas en áreas de restricción y prohibición, contenida en la base de datos de áreas de restricción y prohibición vigentes en el país (DGA, 2019). En el mismo sentido, se evaluó la permanencia de decretos de escasez a nivel comunal, emitidos durante los años 2008 y 2020 por la DGA, considerando el período de la mega-sequía en Chile (CR2, 2015), con el objetivo de evidenciar la cantidad de veces en que se emitió el instrumento. La justificación para la elección de este último indicador radica en que la emisión del decreto de escasez depende, por una parte, de la evidencia que fundamenta una época extraordinaria de sequía, calificada por la DGA mediante resolución fundada, y, por otra, de que no haya acuerdo entre los usuarios para la redistribución de las aguas.

En base a lo anteriormente descrito, se construyó un índice de Sensibilidad compuesto por 18 indicadores, subdivididos en cuatro dimensiones, como se muestra a continuación:

Para la agregación fuzzy de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- Una comuna tiene **Sensibilidad alta** cuando:
  - > Presenta grupos vulnerables, junto con servicios sanitarios vulnerables.
  - > Presenta grupos vulnerables, sin servicios sanitarios vulnerables, pero en presencia de condiciones territoriales de estrés hídrico.

Sub-dimensión	Indicador	Fuente de datos
Grupos vulnerables	Proporción de población infantil (< 5 años).	CENSO 2017
	Proporción de población adulto mayor (> 65 años).	CENSO 2017
	Proporción de hogares liderados por una mujer con población dependiente (niños, niñas, adolescentes o adultos mayores).	CENSO 2017
	Proporción individuos pertenecientes a pueblos originarios.	CENSO 2017
	Proporción de población migrante (< 2 años de permanencia en el país).	CENSO 2017
	Incidencia de pobreza por ingreso.	CASEN 2015
	Incidencia de pobreza multidimensional (5 dimensiones).	CASEN 2015
Condiciones de los hogares	Hacinamiento (promedio de habitantes por vivienda).	CENSO 2017
	Proporción de viviendas urbanas fuera del área de cobertura de la empresa sanitaria.	SISS 2019
	Proporción de viviendas urbanas abastecidas por camiones aljibe.	CENSO 2017
Servicios sanitarios	Nivel de dependencia del suministro a fuentes de agua superficiales.	SISS 2019
	Percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio de agua potable.	SISS 2018
	Nivel de continuidad del servicio de abastecimiento.	SISS 2017
Condiciones territoriales	Nivel de demanda del recurso hídrico (huella hídrica).	MINVU 2019
	Nivel de estrés hídrico.	BID-Fundación Chile 2017
	Comunas con sobre otorgamiento de derechos de agua.	DGA 2019
	Frecuencia de decretos de escasez hídrica en los últimos 10 años.	DGA 2020
	Asentamientos humanos no planificados (campamentos).	World Resources Institute 2015

**Tabla 9.** Indicadores de índice de Sensibilidad de inseguridad hídrica doméstica urbana.

> Sin presentar grupos vulnerables, registra servicios sanitarios vulnerables, condiciones territoriales de estrés hídrico y viviendas vulnerables.

- Una comuna tiene **Sensibilidad baja** cuando:
  - > No presenta ninguna condición de sensibilidad.
  - > Presenta solo una condición de sensibilidad.
- En los otros casos, la comuna tiene **Sensibilidad media**.

### 3.3.4 VALIDACIÓN DE LA CADENA DE IMPACTO Y DE LOS INDICADORES

Como ya se mencionó, esta cadena de impacto fue sometida a discusión con una serie de expertos del mundo de la academia, de la sociedad civil y de las políticas públicas. La inclusión de sus observaciones permitió precisar la reagrupación de los componentes de Sensibilidad y crear una nueva categoría (servicios sanitarios) que da relevan-



cia a factores de sensibilidad de las empresas sanitarias, como la continuidad del servicio, la escasez perceptual y la dependencia a fuentes superficiales. Esta última variable fue también incorporada en la cadena de impacto luego de las entrevistas con expertos, entre quienes existe un claro acuerdo de que el agua producida a nivel superficial se puede ver más afectada que la subterránea por los efectos de la sequía.

El proceso de validación permitió, además, reconocer la importancia de la identificación de la cantidad de viviendas urbanas que no cuentan con cobertura de agua potable. Este es un dato que no se conocía previamente y que releva el hecho de que los instrumentos de planificación urbana están desactualizados en relación con el crecimiento de sectores urbanos y la cobertura de las empresas sanitarias.

En este contexto, es preciso discutir la distancia entre la cadena de impacto ideal y aquella que fue posible construir en función de los indicadores disponibles. En una primera etapa se consideró incluir en el modelo de análisis las Amenazas del aumento de precipitaciones intensas, de la contaminación de las aguas y del aumento de la turbiedad en plantas de producción superficiales. Sin embargo, dado que este es un fenómeno relativamente reciente, no existen datos construidos que se puedan aplicar a nivel nacional de manera sistemática para identificarlo. En virtud de esto, y siguiendo las sugerencias de los expertos, se optó por mantenerlos fuera de la cadena de impacto.

La falta de datos es un problema transversal, que perjudica la posibilidad de adquirir información precisa, por ejemplo, respecto del sobre otorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas por cada cuenca. No todos los derechos de aguas están en la base de datos de la DGA y es necesario recuperar esa información de las fichas de inscripción en los Conservadores de Bienes Raíces de las localidades del país. Además, la necesidad de pedir la información por transparencia a la Superintendencia de Servicios Sanitarios, con sus tiempos asociados, retrasó la llegada de datos que hubiesen permitido robustecer el análisis a nivel doméstico.

Por último, si bien se reconoce entre los expertos y en la literatura revisada que los puntos de captación cercanos a la costa son sensibles a la salinización, sobre todo en un contexto de escasez hídrica, no fue posible construir este indicador. Para hacerlo, se requiere información hidrogeológica que no se encuentra disponible para todos los puntos de captación del país.

### 3.3.5 RESULTADOS

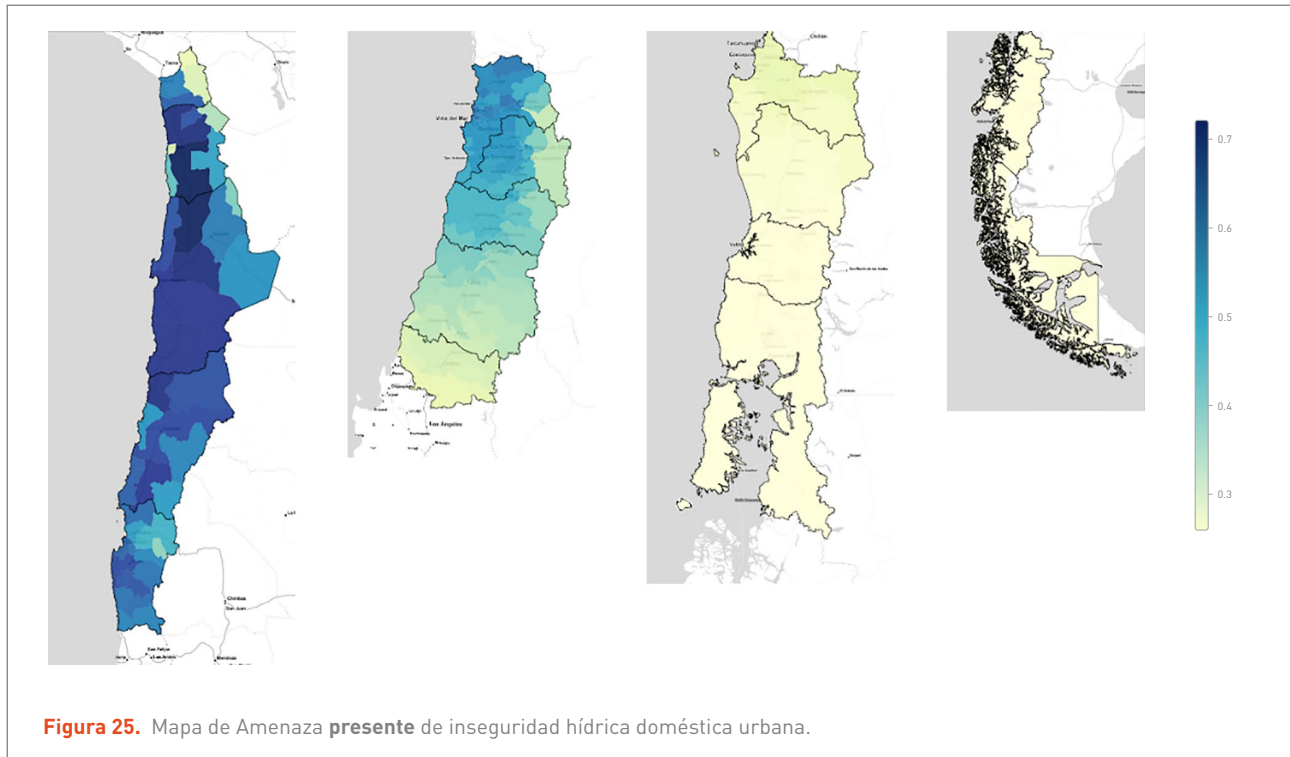
Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas para las dimensiones de Amenaza, Exposición y Sensibilidad, en los escenarios Presente y Futuro, y su variación.

La **Figura 25** muestra los resultados de estimación de la **Amenaza Presente** en una escala comunal, generada a partir de un indicador que considera la frecuencia de períodos de sequía y la evapotranspiración potencial, mediante la utilización de la lógica difusa.

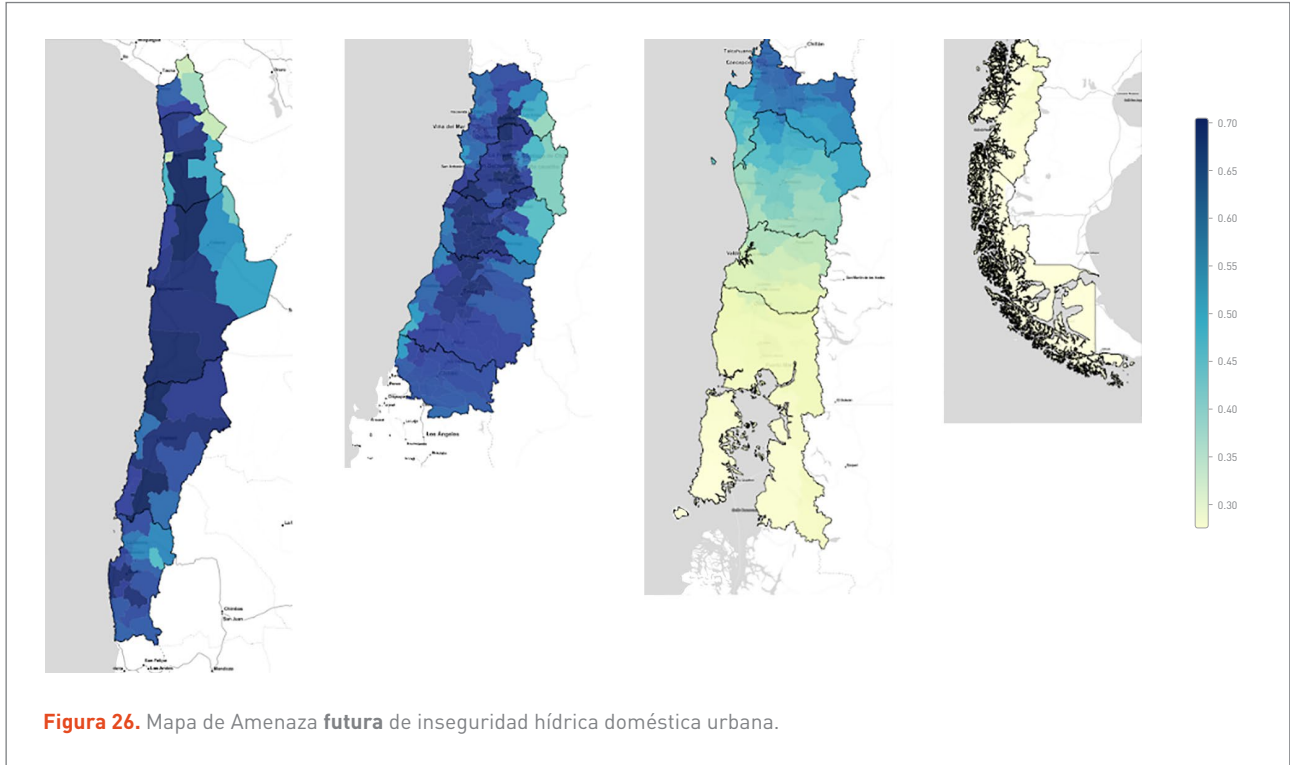
Se observa una alta ocurrencia de períodos de sequía en el norte de Chile, con especial intensidad desde la Región de Arica y Parinacota hasta la de Coquimbo, principalmente, en las zonas de los valles intermedios. En el centro del país, ciertas comunas de la Región de Valparaíso, de la Metropolitana y de la Región de O'Higgins registran Amenaza intermedia en relación con los niveles máximos del territorio nacional. Hacia el sur, especialmente desde la Región de La Araucanía hasta la Región de Magallanes, la Amenaza de sequía meteorológica en tiempo Presente es menor comparada con los niveles del norte de Chile, manteniendo niveles de precipitación no considerados como sequía.

La **Figura 26** presenta el mapa de **Amenaza Futura**. Este indicador fue construido mediante la metodología señalada anteriormente, esta vez considerando los valores proyectados para dichas variables al año 2035. Como se observa, la distribución general es consistente con su par del período Presente. Muestra, además, una expansión de la sequía hacia el sur, hasta la Región de La Araucanía, observándose una intensificación de la sequía de altos valores en comunas de las zonas centro y centro-sur del país.





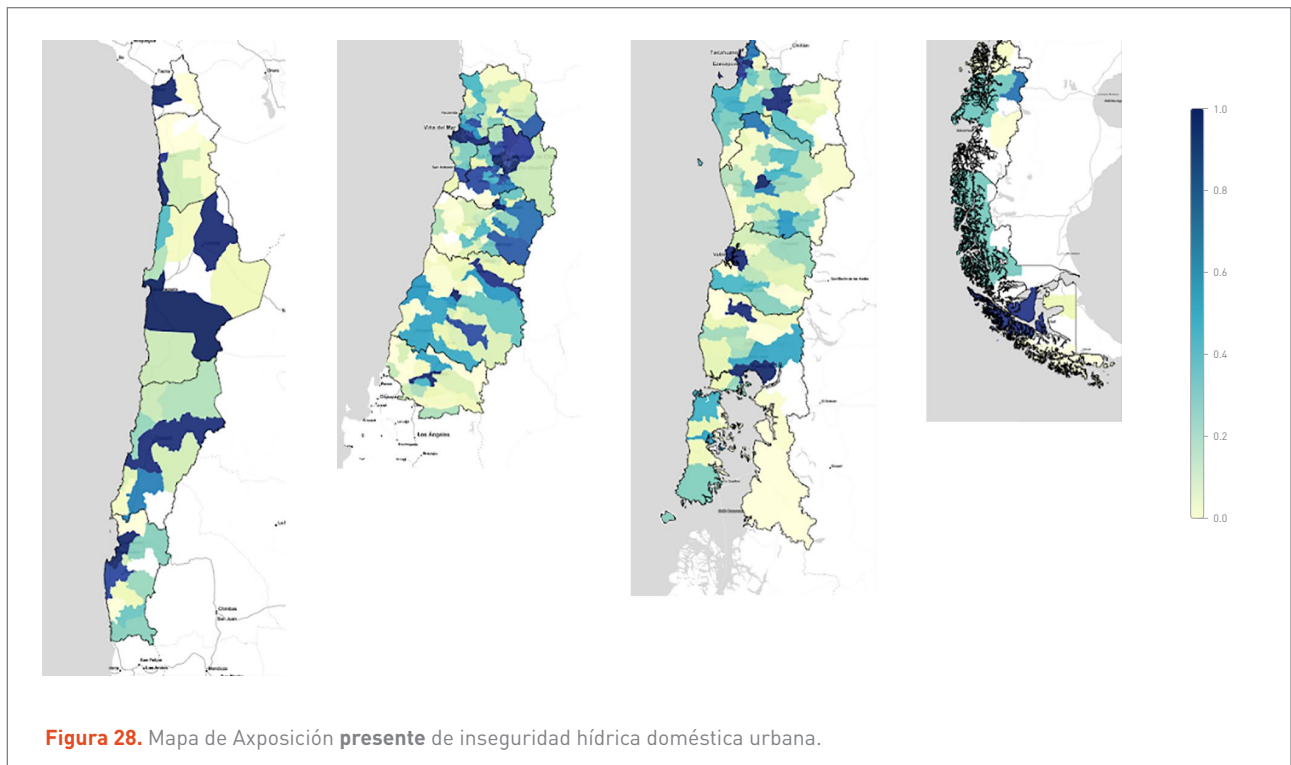
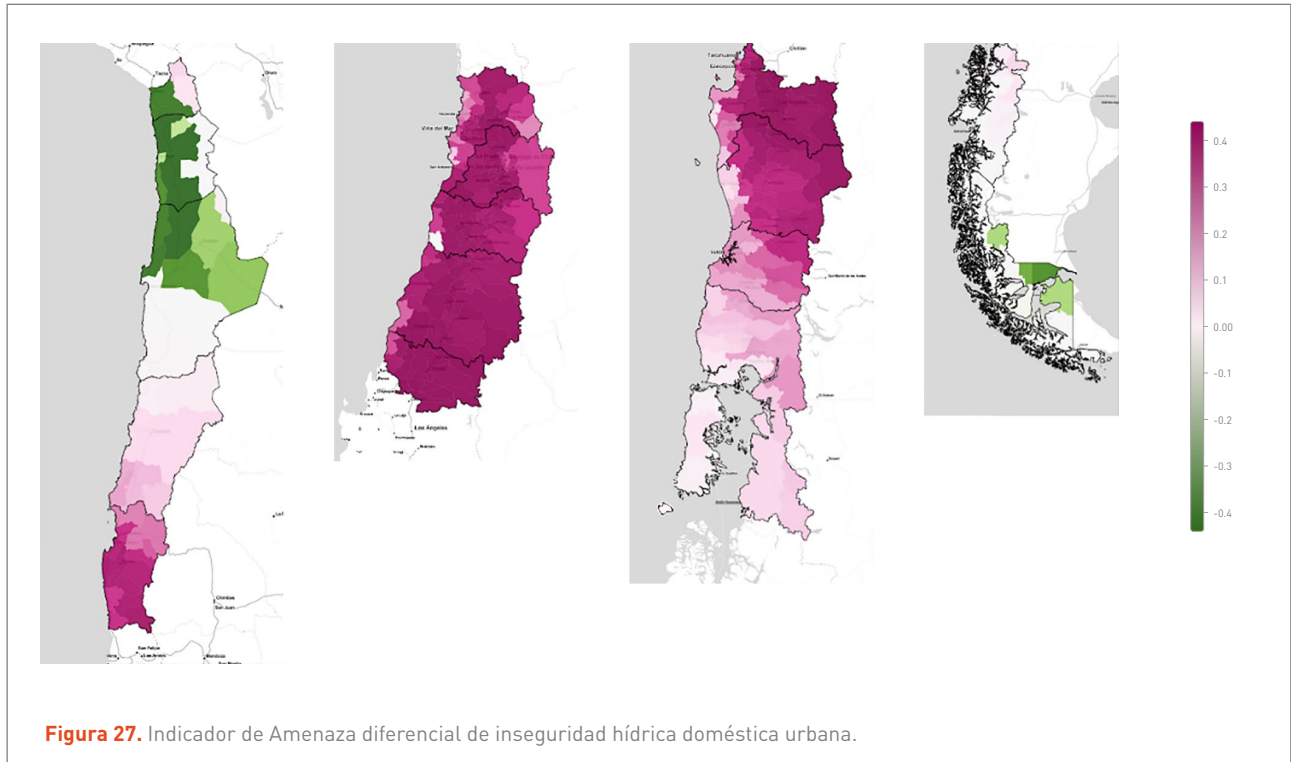
**Figura 25.** Mapa de Amenaza **presente** de inseguridad hídrica doméstica urbana.



**Figura 26.** Mapa de Amenaza **futura** de inseguridad hídrica doméstica urbana.

Como se puede observar en la **Figura 27**, los mayores aumentos en la Amenaza se presentan en la zona centro-sur del país, específicamente, desde la Región de Valparaíso hasta la Región del Ñuble. La incidencia de sequía disminuye hacia los extremos, siendo moderada en la Región de

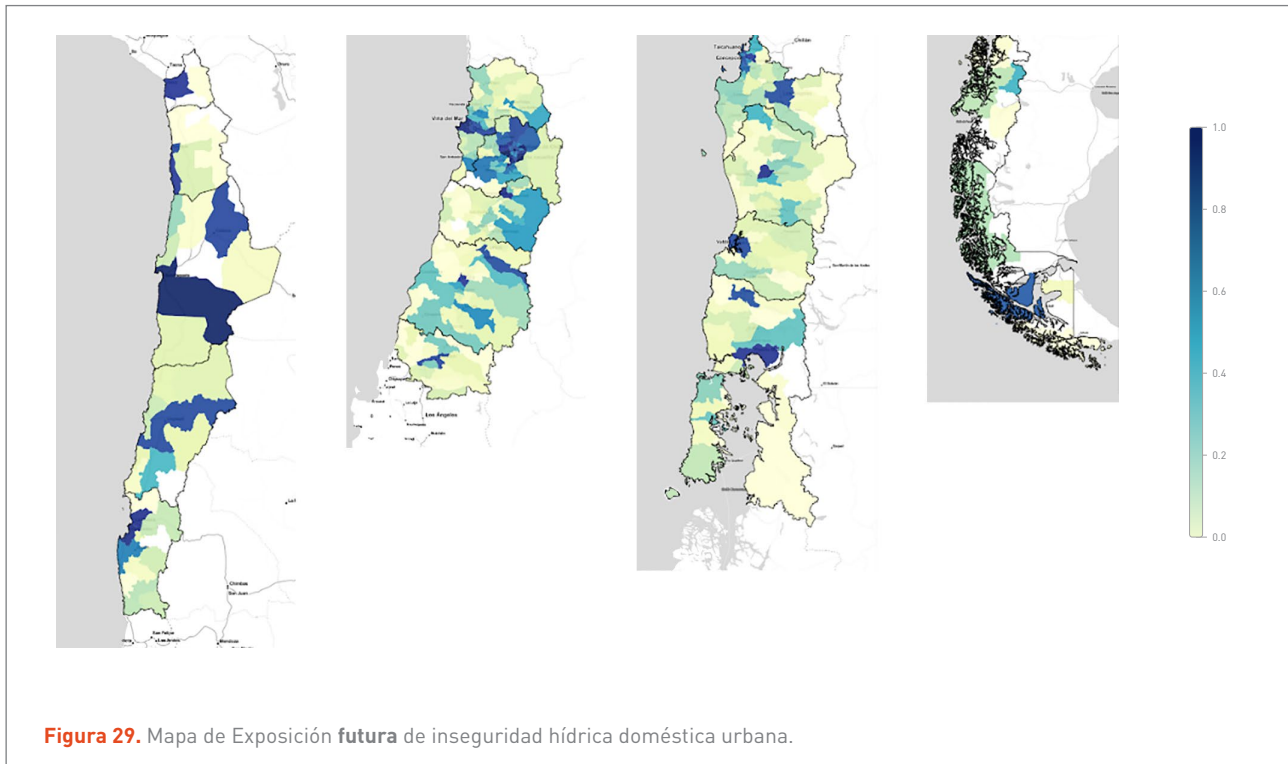
Coquimbo y desde la Región del Biobío hasta la Región de Los Ríos. Además, se identifica que la incidencia a la sequía es muy baja hacia el extremo norte del país, lo mismo en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.



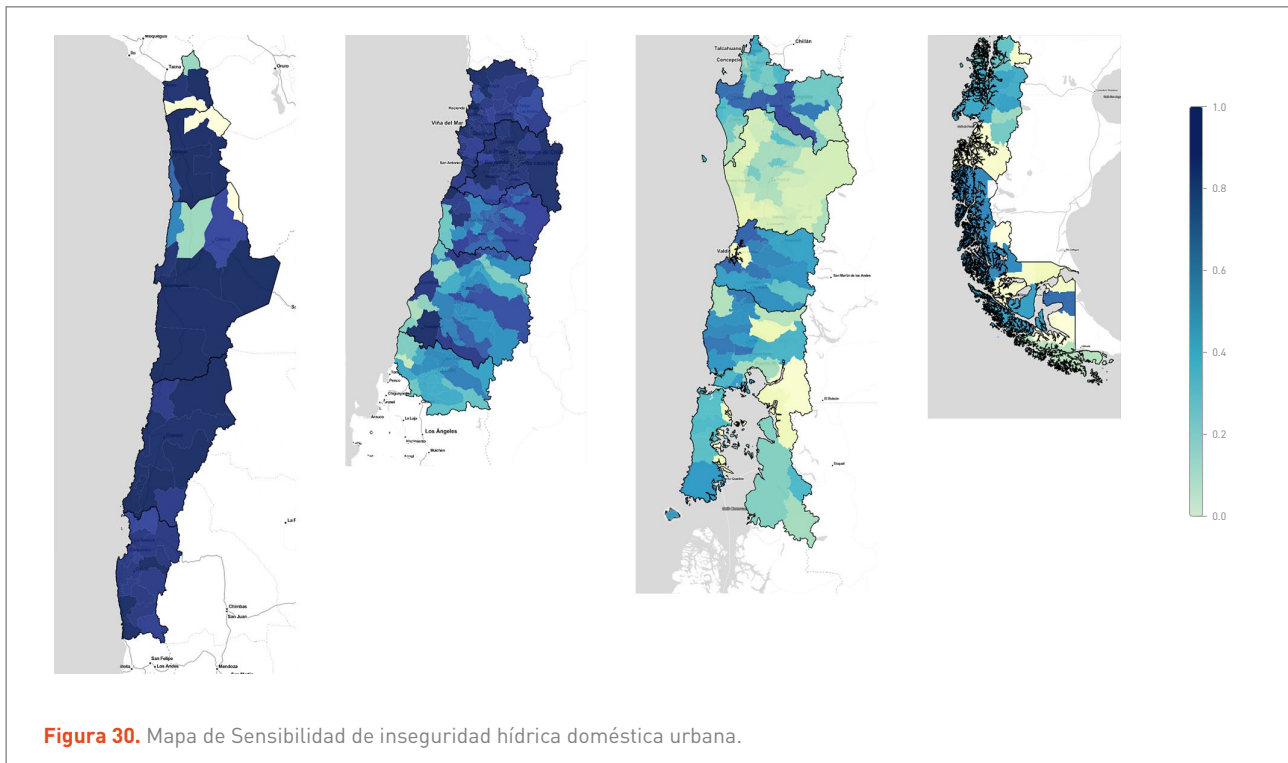
La **Figura 28** muestra la **Exposición Presente** a la Amenaza de sequía meteorológica. Según el mapa, se puede identificar que la Región Metropolitana concentra la mayor proporción de población, siguiendo con las principales ciudades del norte del país, como Antofagasta, Copiapó y

Arica. Hacia el sur también se identifican ciudades grandes como Talca, Concepción y Temuco.

Si se observa la **Figura 29**, se puede afirmar que la tendencia es la misma en el indicador de **Exposición Futura**,



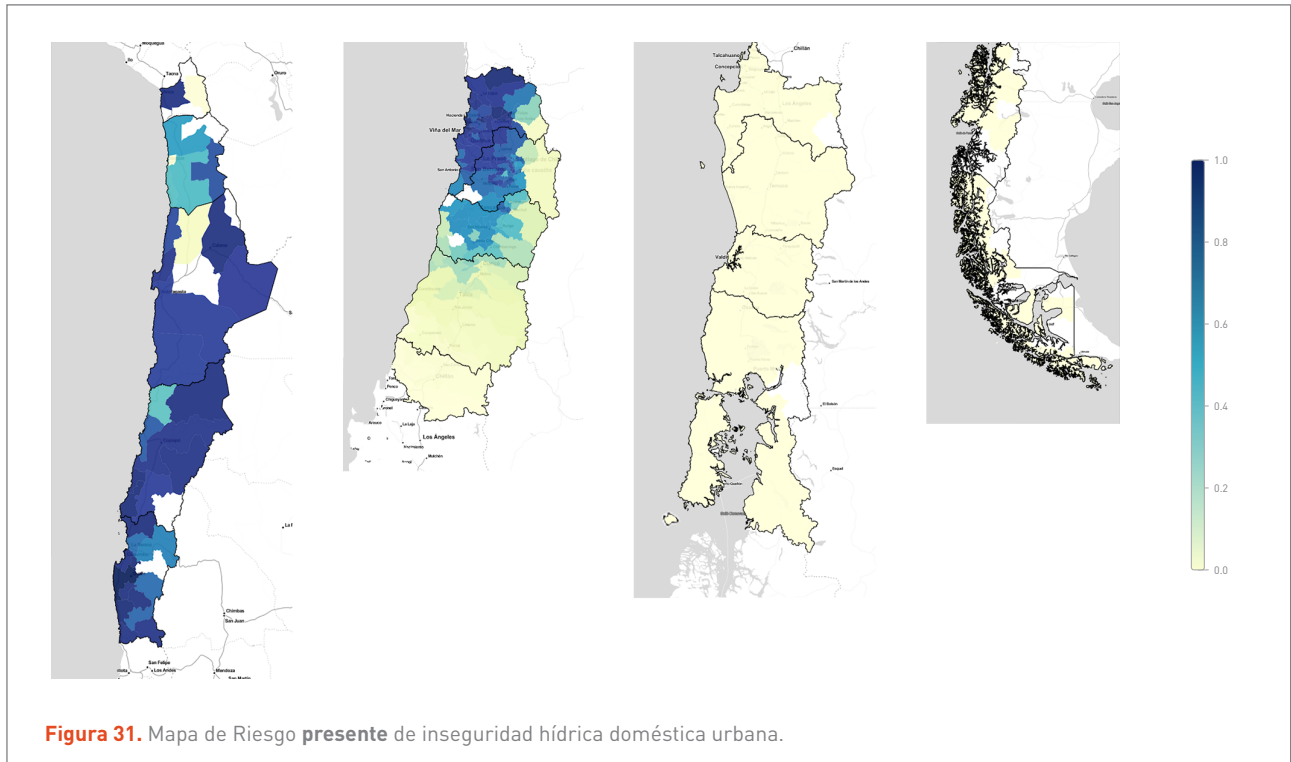
**Figura 29.** Mapa de Exposición futura de inseguridad hídrica doméstica urbana.



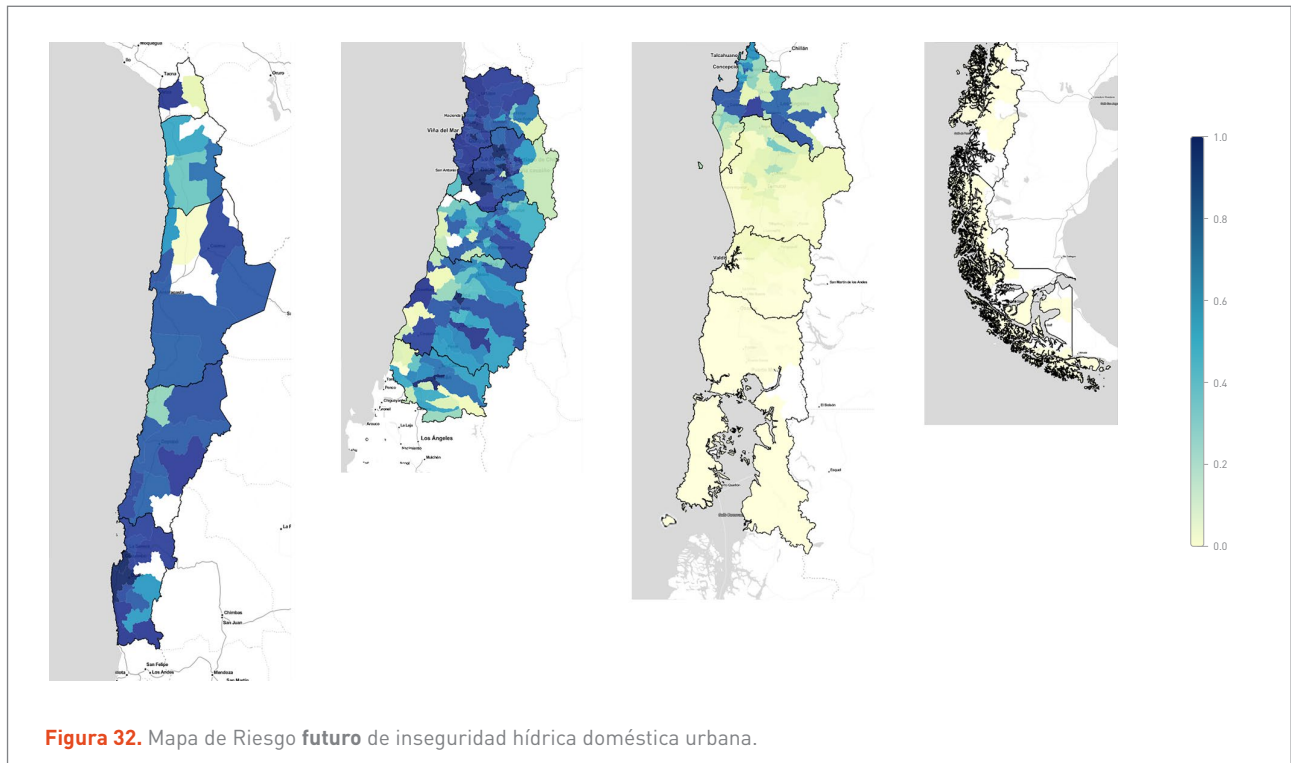
**Figura 30.** Mapa de Sensibilidad de inseguridad hídrica doméstica urbana.

donde destacan las comunas con las principales ciudades. La **Figura 30** muestra el indicador de Sensibilidad, construido en función de la presencia de grupos vulnerables, condiciones de los hogares, servicios sanitarios y condiciones territoriales. Considerando que, en sectores urbanos,

son las empresas sanitarias las responsables de otorgar el servicio de abastecimiento de agua potable, se les dio mayor relevancia a “servicios sanitarios” en las reglas de agregación aplicadas. El mapa muestra que las comunas del norte registran una muy alta Sensibilidad, por la esca-



**Figura 31.** Mapa de Riesgo **presente** de inseguridad hídrica doméstica urbana.

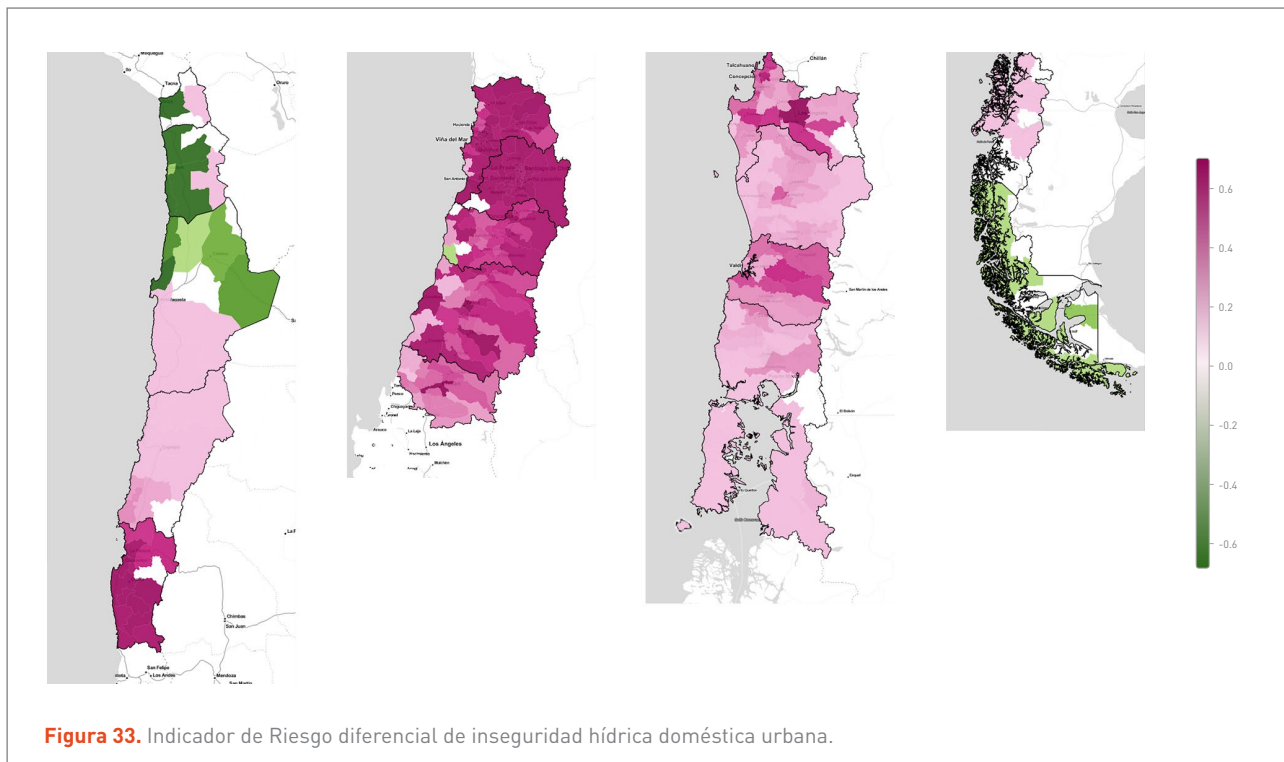


**Figura 32.** Mapa de Riesgo **futuro** de inseguridad hídrica doméstica urbana.

sez perceptual, la continuidad del servicio y el porcentaje de agua extraída a partir de fuentes superficiales\* (las estimaciones no consideran las fuentes de agua desalinizada). La zona central igual presenta índices muy altos de Sensibilidad, no solo por servicios sanitarios, también

por diferentes condiciones que generan Vulnerabilidad en las viviendas (presencia de sectores urbanos fuera del territorio operacional de las empresas sanitarias y que son abastecidas por camiones aljibe) y Vulnerabilidad del territorio (presencia de campamentos), así como el sobre





otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas y el nivel de estrés hídrico, entre otros.

La **Figura 31** presenta el **Riesgo Presente** de inseguridad hídrica doméstica urbana, considerando los indicadores obtenidos de Amenaza, Exposición, Sensibilidad y, Capacidad de respuesta y adaptación del territorio en términos de Vulnerabilidad. Se observa una distribución de Riesgo muy alto y alto en la mayoría de las comunas desde la Región de Antofagasta hasta la Región Metropolitana. Esta última registra el mayor Riesgo en comunas del valle intermedio que en las zonas cordilleranas de los Andes. Además, se puede identificar que, desde la Región del Maule al sur, existe una clara tendencia de Riesgo bajo.

Ahora bien, la **Figura 32** presenta el Riesgo de la inseguridad hídrica doméstica urbana en un escenario Futuro. Se observa una tendencia de Riesgo muy alto en el futuro para la zona central del país por la incidencia de la sequía, principalmente, en comunas costeras de las regiones de Coquimbo y de Valparaíso. Además, se identifica Riesgo muy alto en las comunas del valle central de la Región Metropolitana. Desde esta región hasta la Región del Biobío, se registra heterogeneidad en el Riesgo por inseguridad hídrica urbana

doméstica de las comunas, posiblemente, debido al servicio entregado por las empresas sanitarias y las condiciones del territorio identificadas en cada comuna. Finalmente, se aprecia bajo Riesgo desde la Región de La Araucanía al sur.

Cabe destacar que, para robustecer la evaluación del Riesgo final, se deben incorporar elementos de resiliencia que no fueron analizados en esta etapa de la investigación, como la capacidad de las empresas sanitarias para adaptarse a la sequía mediante la diversificación de fuentes o la inversión en infraestructura de acumulación de agua.

Para ilustrar el efecto diferencial del cambio climático, se construyó una cadena de impactos a partir de la diferencia entre los indicadores meteorológicos de los escenarios Presente y Futuro. En la **Figura 33** se observa que el Riesgo a la inseguridad hídrica doméstica urbana es muy alto en las regiones de Valparaíso y Metropolitana. En las regiones del Libertador Bernardo O'Higgins y del Maule, el Riesgo aumenta a muy alto en algunas comunas distribuidas de manera heterogénea dentro de estas regiones. Por otra parte, se identifica un Riesgo alto en algunas comunas de la Región de Coquimbo, principalmente las costeras, y en ciertas comunas de las regiones del Biobío y de Los Ríos.



Un aumento moderado del Riesgo a la inseguridad hídrica urbana doméstica mostraron las regiones de Atacama y de La Araucanía, y desde Los Lagos al sur. Finalmente, los extremos norte y sur del país muestran niveles de Riesgo bajo y muy bajo a la inseguridad hídrica urbana a nivel doméstico.

### 3.4 INUNDACIONES

---

Entre los eventos extremos asociados al cambio climático, uno de los más relevantes en varias regiones del mundo es el aumento de las precipitaciones intensas (IPCC, 2019) y sus consecuencias en términos de inundaciones, ya sea por el desbordamiento de ríos u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua en zonas que normalmente no están sumergidas (IPCC, 2014). En los ríos, el evento de precipitación intensa origina un aumento del caudal, lo que genera un desborde de agua hacia superficies que se encuentran secas y que, usualmente, comprenden población e infraestructura de asentamientos. El impacto de acumulación de agua en zonas urbanas depende de la infraestructura de obras y drenaje diseñadas para evacuar el escurrimiento (Garofalo *et al.*, 2017).

Las inundaciones son el segundo impacto de mayor importancia en el contexto de cambio climático para nuestro país. Se indica que los eventos se concentran en las regiones de la macrozona sur, asociados con un impacto social alto. Además, es importante destacar la presencia de estos eventos en la macrozona norte, particularmente en las regiones de Arica y Parinacota y de Atacama, que, combinado con los efectos de remociones en masa, genera impactos catastróficos en los territorios (Ministerio de Obras Públicas, 2018).

La presente cadena de impacto considera las consecuencias de la inundación por desborde de colectores para la población urbana (como puede verse en la **Figura 34**). El aumento de precipitaciones intensas, dada la variabilidad climática propia del cambio climático, genera como impacto intermedio el colapso o desborde de los colectores

de aguas lluvias, favoreciendo inundaciones urbanas que generan, como impacto final, el deterioro de las condiciones de la vivienda y servicios críticos (Porio, 2011; Ranger *et al.*, 2010; Samu & Kentel, 2018; Wang, 2015). Dicha Amenaza fue conceptualizada prestando atención al rol que tiene la infraestructura en el fenómeno de inundaciones (Chan *et al.*, 2018; Garofalo, Giordano, Piro, Spezzano & Vinci, 2017), evaluando esta variable en junto a variables climáticas propias del territorio natural. Para centrar el foco del estudio del riesgo en la dimensión de la Vulnerabilidad de la población, los impactos fueron escogidos en la medida que tuvieran algún grado de vinculación con afectaciones a escala residencial.

En lo que respecta a los ámbitos expuestos a esta Amenaza, se consideró a la población urbana por comuna. Según la literatura científica (Boulos, 2017; Huong & Pathirana, 2013; Willems, Arnbjerg-Nielsen, Olsson & Nguyen, 2012), el nivel de urbanización es un factor relevante para el aumento de la probabilidad de inundaciones, debido que la infraestructura urbana altera el curso natural del agua ante estos fenómenos. La sensibilidad depende de los grupos más vulnerables a este tipo de Amenaza, de las condiciones de las viviendas y las condiciones del territorio. Estos ámbitos fueron seleccionados, a partir de la revisión de literatura, en la presente cadena de impacto, dado que permiten posicionar las condiciones locales de cada territorio de manera integral en la definición del grado afectación del deterioro de las viviendas. A su vez, la resiliencia está determinada por la capacidad que tenga el sistema para construir y mantener infraestructura “anti-inundaciones”, planificar y preparar estrategias de mitigación a este tipo de Amenazas y fortalecer el rol de los municipios.

Para la operacionalización de la cadena de impacto de inundaciones por desborde de colectores de aguas lluvias, se utilizaron los indicadores que se presentan a continuación.

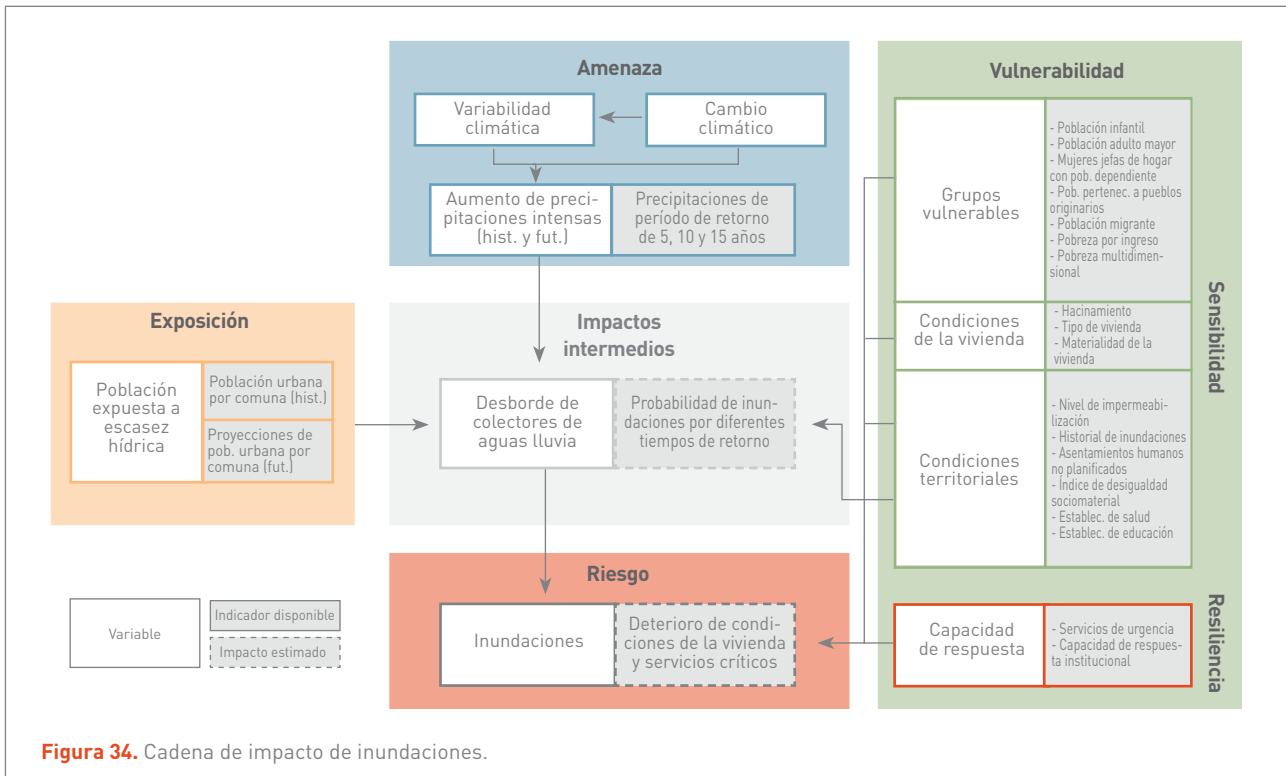


Figura 34. Cadena de impacto de inundaciones.

### 3.4.1 AMENAZA

En lo que respecta a la Amenaza, se utilizó el indicador de inundación creado por el WP de Hidrología, el cual considera la información de los Planes Maestros de Aguas Lluvias para las 40 ciudades más pobladas del país, así como variables de precipitación, erodabilidad del suelo, altura,

entre otras. Este índice considera un análisis de frecuencia de las series de precipitación máxima obtenidas de la base del CR2Met y el promedio de los General Circulation Models (GCMs) utilizados. Se identifica un indicador a partir de tres períodos de retorno: 5, 10 y 20 años. El detalle de este indicador se encuentra especificado en el capítulo realizado por el equipo de hidrología.

Indicador	Descripción
Precipitaciones período de retorno 5 años presente/futuro	Indicador compuesto que incluye: precipitaciones período de retorno 5 años relacionado a la probabilidad de falla de los colectores, latitud y longitud de la comuna, altitud media, altitud máxima, altitud mínima, pendiente media, pendiente máxima, pendiente mínima, área y erodabilidad.
Precipitaciones período de retorno 10 años presente/futuro	Indicador compuesto que incluye: precipitaciones período de retorno 10 años relacionado a la probabilidad de falla de los colectores, latitud y longitud de la comuna, altitud media, altitud máxima, altitud mínima, pendiente media, pendiente máxima, pendiente mínima, área y erodabilidad.
Precipitaciones período de retorno 20 años presente/futuro	Indicador compuesto que incluye: precipitaciones período de retorno 20 años relacionado a la probabilidad de falla de los colectores, latitud y longitud de la comuna, altitud media, altitud máxima, altitud mínima, pendiente media, pendiente máxima, pendiente mínima, área y erodabilidad.

Tabla 10. Indicadores de índice de Amenaza de inundaciones.



Para crear un indicador de Amenaza Presente y Futura, a diferencia de lo ocurrido con los indicadores de Sensibilidad y Riesgo, no se utilizó un proceso de agregación *fuzzy*, sino que se hizo mediante un promedio ponderado de los diferentes períodos de retorno. Este se realizó entregando una mayor ponderación al período de retorno de 5 años respecto de los períodos de 10 y 20 años, y una mayor ponderación al período de 10 años respecto del de 20 años.

### 3.4.2 EXPOSICIÓN

La Exposición consideró a la población urbana por comuna en base a la información del CENSO 2017. Es esta población, en general, la que está expuesta a la Amenaza de inundaciones, debido a que -de acuerdo con la literatura científica- durante tales eventos, el agua tiende retomar el curso natural que fue alterado por la infraestructura urbana, por lo que es relevante considerar el nivel de urbanización al evaluar este tipo de fenómenos (Boulos, 2017; Huang & Pathirana, 2013; Willems, Arnbjerg-Nielsen, Olsson & Nguyen, 2012).

Para operacionalizar esta variable, se consideró un solo indicador, correspondiente al logaritmo de la población urbana residente en cada comuna, de acuerdo con los datos del CENSO 2017, convertido en una distribución *fuzzy* (con rango entre 0 y 1). Respecto del escenario Futuro, se consideró el logaritmo de la población comunal proyectada para el año 2035, de acuerdo con los análisis realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas.

### 3.4.3 SENSIBILIDAD

La sensibilidad de la población ante las inundaciones por desborde de colectores depende de la presencia de grupos vulnerables, como la proporción de niños menores de 5 años y la proporción de adultos mayores de 65 años o más por comuna, ambos datos obtenidos del CENSO 2017 (INE 2017). Estos grupos son dependientes de otros participantes del hogar, son más propensos a enfermedades previas y a problemas de desnutrición (Finch, Emrich & Cutter, 2010; Jagnoor *et al.*, 2019; Oven *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2015).

Por otra parte, la sensibilidad es mayor en las viviendas que habitan grupos con mayores dificultades para adaptarse por condiciones estructurales y, más aún, cuando existe un cruce de diferentes variables que aumentan la Vulnerabilidad (Ajibade, McBean & Bezner-Kerr, 2013; Finch, Emrich & Cutter, 2010). Bajo este criterio se considero, también, a las viviendas que tuvieran a personas de sexo femenino en la jefatura de hogar, (Ajibade, McBean & Bezner-Kerr, 2013; Finch, Emrich & Cutter, 2010). Esto, porque las desigualdades de género, ya estructurales, suelen incrementarse ante los efectos del cambio climático en aspectos como cuidado, alimentación y mantención, además de la capacidad de optar a empleos precarios y la escasa cobertura en salud. Este indicador se obtuvo al calcular el porcentaje de hogares del CENSO 2017 (INE 2017) en los que la jefatura de hogar pertenece a una persona de sexo femenino, con nivel educacional máximo de enseñanza media, y donde existe presencia de población dependiente (padre, madre, hijos, suegro, yerna) de 14 años o menos, o mayores de 65.

Otro grupo de la población que tiene menor capacidad adaptativa a las inundaciones son los marginados estructuralmente como etnias y/o migrantes (Finch, Emrich & Cutter, 2010; Wu *et al.*, 2015; Zare & Talebbeydokhti, 2018), calculado como proporción del total de la población comunal, según los datos del CENSO 2017 (INE 2017). También los grupos de escasos recursos tienen menor capacidad adaptativa y suelen habitar zonas inundables, a diferencias de otros estratos socioeconómicos (Abid *et al.*, 2016; Dottori *et al.*, 2018). Este indicador fue medido por la pobreza por ingresos y por la multidimensional, según la encuesta CASEN 2015, del Ministerio de Desarrollo Social. En otro ámbito, las condiciones de las viviendas también pueden ser más sensibles a las inundaciones por desborde de colectores, en la medida que registren hacinamiento (mayor concentración de personas en una vivienda), lo que- a su vez- determina la posibilidad de padecer y propagar enfermedades que surgen posterior a una inundación (Adeleye, Popoola, Sanni, Zitta & Ayangbile, 2019; Grenne, Wilson, Konty & Fine, 2013). Para esto, se utilizaron los datos del CENSO 2017 (INE, 2017), donde se calculó la cantidad de personas que residen en un hogar dividido por el número de habitaciones, para así obtener





un índice de hacinamiento. Además, la infraestructura de la vivienda afecta en su sensibilidad a las inundaciones (Bizimana & Schilling, 2009; Mohit & Akhter, 2007), según sea por el tipo de la vivienda, donde son más sensible las mediaguas, mejora, choza tradicional indígena, móvil o habitación en casa antigua o conventillo, según los datos del CENSO 2017 (INE, 2017); o bien por contar con materialidad precaria, donde se consideraron las viviendas urbanas con materialidad precaria en techos y muros, según los resultados del CENSO 2017 (INE, 2017).

Ahora bien, existen condiciones territoriales que tienen un impacto directo en el desborde de colectores en las ciudades, como el nivel de impermeabilización de la superficie de la comuna, que hace referencia a las inundaciones por impermeabilización del suelo influenciado por la acción antrópica (Boulos, 2017; Huong & Pathirana, 2013; Willems, Arnbjerg-Nielsen, Olsson & Nguyen, 2012). Para esto, se utilizó la información desarrollada por el proyecto Land Cover Chile 2014, el cual -a partir de imágenes satelitales de diferentes momentos en el tiempo y un algoritmo de clasificación de píxeles- fue capaz de distinguir, con un cierto nivel de precisión, las coberturas de suelo a nivel nacional.

Otro factor es el historial de inundaciones de las comunas, que puede indicar mayor nivel de Exposición de estos territorios. Si bien para literatura esta variable puede ser considerada como un elemento de resiliencia (Terpstra, 2011), en las entrevistas realizadas con expertos se sugirió como un factor de sensibilidad, puesto que una mayor experiencia no implica, en principio, una mayor preparación. Para esto, se utilizaron los datos registrados para Chile en la plataforma DesInventar, donde es posible acceder al número de inundaciones a nivel comunal entre los años 1970 y 2014.

Dentro de las condiciones territoriales, también se incluyó a los asentamientos humanos no planificados en términos de presencia de campamentos, utilizando la información del Catastro Nacional de Campamentos (2019), elaborado por el MINVU. Este tipo de asentamiento suele estar ubicado en áreas que no se consideran aceptables para ser habitadas, precisamente, porque coincide con zonas propensas a

inundarse o bien, porque no cuentan con la infraestructura necesaria para hacer frente a esta u otro tipo de Amenaza (Chatterjee, 2010; Di Baldassarre *et al.*, 2010). Además, se estableció un indicador para los factores de desigualdad socio-material a nivel comunal, como proxy de segregación urbana (Chatterjee, 2010; Grove *et al.*, 2018), el cual mide el nivel de segregación de las viviendas a partir de un índice socio-material de la vivienda. En concreto, se elaboró un índice socio-material de la vivienda, compuesto por su materialidad, nivel de hacinamiento y nivel educacional del jefe de hogar, el cual permite distinguir tres grupos de viviendas: alto nivel socio-material, nivel socio-material medio y bajo nivel socio-material. Estos datos fueron referenciados a las zonas censales por comuna correspondientes a sectores urbanos, según definición del INE. Posteriormente, se aplicó el índice no-espacial de segregación Gini multigrupo en cada comuna, de modo de evidenciar la desigualdad en la distribución de los grupos entre las zonas censales.

Finalmente, dentro de las condiciones territoriales, se consideró la presencia de establecimientos de salud y educación por comuna, en base al rol que cumple este tipo de infraestructura en garantizar la calidad de vida de la población urbana (Scheuer, Haase & Meyer, 2010; Kapoor, Gupta, Pasha & Phan, 2018). Para los establecimientos de salud, se incluyó el número de establecimientos de salud primaria, secundaria y terciaria, establecimientos de dirección y otros, de la base de datos de DEIS (2019); mientras que, para los establecimientos de educación, se usó la base de datos disponible de MINEDUC (2019).

En el desarrollo de los mapas de Riesgo aquí presentados, la dimensión de resiliencia en la Vulnerabilidad no fue trabajada para la creación de indicadores. En la cadena de impacto se presentan las variables de resiliencia que han sido extraídas directamente de la literatura, por lo tanto, no han pasado por un proceso de revisión de su factibilidad de acuerdo con la información disponible. Sin embargo, es posible destacar la relevancia que se le ha dado en la literatura a algunas variables, que será importante rescatar en estudios futuros. Por una parte, en la categoría de flexibilidad se destaca la existencia de infraestructura anti-inundaciones, como barreras fluviales o drenaje urbano, de la capacidad de los sistemas de salud y del acceso a pro-



tección social. Por ejemplo, la presencia de infraestructura anti-inundaciones no solo evita las inundaciones, también aumenta la disponibilidad de agua en el territorio (Di Baldassarre, 2013). Por otro lado, la categoría de aprendizaje se relaciona, principalmente, con la presencia de sistemas de información monitoreados que aumentan la capacidad de adaptación de los territorios y la planificación en torno al crecimiento de las ciudades (Wilby & Keenan, 2012). Finalmente, en la categoría de autotransformación se consideran variables como el fortalecimiento de municipios y la existencia de gestión integrada de recursos hídricos. La capacidad que tienen los territorios desde el punto de vista de la gobernanza se considera fundamental para llevar a cabo coordinaciones y planes para hacer frente a la Amenaza de inundaciones. A partir de lo expuesto, se construyó un índice de Sensibilidad integrado por 18 indicadores, subdivididos en tres dimensiones, las cuales se presentan en la **Tabla 11**.

Para la agregación *fuzzy* de estos indicadores, se consideraron las siguientes reglas:

- **Una comuna tiene Sensibilidad alta cuando:**
  - > Presenta condiciones de un entorno vulnerable y cumple con registrar población vulnerable o bien, posee viviendas vulnerables.
  - > Presentar un entorno medianamente vulnerable, con presencia de viviendas vulnerables.
- **Una comuna tiene Sensibilidad media cuando:**
  - > Presentar condiciones de un entorno vulnerable, pero sin población ni viviendas vulnerables.
  - > Presentar población y viviendas vulnerables, pero sin un entorno vulnerable.
  - > Presentar entornos medianamente vulnerables y población vulnerable, pero sin viviendas vulnerables.

Sub-dimensión	Indicador	Fuente de datos
Grupos vulnerables	Proporción de población infantil (< 5 años).	CENSO 2017
	Proporción de población adulto mayor (> 65 años).	CENSO 2017
	Proporción de hogares liderados por una mujer, con población dependiente (niños, niñas, adolescentes o adultos mayores).	CENSO 2017
	Población perteneciente a pueblos originarios	CENSO 2017
	Población migrante (< 2 años de permanencia en el país).	CENSO 2017
	Incidencia de pobreza por ingreso.	CASEN 2015
	Incidencia de pobreza multidimensional (5 dimensiones).	CASEN 2015
Condiciones de los hogares	Hacinamiento en áreas urbanas.	CENSO 2017
	Tipos de construcciones en áreas urbanas.	CENSO 2017
	Materialidad de la vivienda en áreas urbanas.	CENSO 2017
Servicios sanitarios	Impermeabilización del suelo.	MMA 2014
	Historial de inundaciones (1970-2014).	DESINVENTAR 2014
	Asentamientos humanos no planificados (campamentos).	MINVU 2019
Condiciones territoriales	Desigualdad socio-material.	CENSO 2017
	Cantidad de establecimientos de salud por comuna.	DEIS 2019
	Cantidad de establecimientos de educación por comuna.	MINEDUC 2019

**Tabla 11.** Indicadores de índice de Sensibilidad de inundaciones.

- Una comuna tiene **sensibilidad baja** cuando:
  - > No presentar un entorno vulnerable, tampoco población ni viviendas vulnerables.
  - > No presentar un entorno vulnerable, pero sí registrar uno de los otros dos grupos de indicadores de Sensibilidad (población o viviendas vulnerables).
  - > Presentar un entorno medianamente vulnerable, sin población ni viviendas vulnerables.

### 3.4.4 VALIDACIÓN DE LA CADENA DE IMPACTO Y DE LOS INDICADORES

Como se mencionó, esta cadena de impacto fue sometida a discusión con una serie de expertos del mundo de la academia, de la sociedad civil y de las políticas públicas. La inclusión de sus observaciones permitió validar los indicadores escogidos y agregar el historial de inundaciones como factor de Sensibilidad. El historial había sido descartado por la desactualización de la base de datos (1970 - 2014), que no permite asociar las inundaciones con los impactos del cambio climático, principalmente desde el 2010 hasta la actualidad (CR2, 2015); y porque dicha base fue construida a partir de la revisión de prensa, lo que solo muestra los eventos que fueron registrados en base a este medio y no otro. La literatura señala que este sería un factor de resiliencia (Terpstra, 2011), ya que permitiría elaborar planes de anticipación y adaptación a la Amenaza por inundaciones. Sin embargo, según las personas entrevistadas, en Chile no se ha considerado el registro histórico de inundaciones como criterio para la planificación y anticipación de desastres; por lo que, a pesar de no contar con una base lo suficientemente actualizada, es relevante posicionar la recurrencia de este tipo de eventos y la insuficiente planificación que hay en torno a la problemática.

En este contexto, es preciso discutir la distancia entre la cadena de impacto ideal y aquella que fue posible construir en función de los indicadores disponibles. En primer lugar, existe un desconocimiento sobre la presencia de colectores en algunas comunas del país. Sólo las ciudades con más de 50.000 habitantes cuentan con planes maestros de aguas lluvias elaborados por la DOH, por lo cual se desconoce la situación de ciudades/comunas más

pequeñas. Incluso, parte de las comunas que cuentan con planes maestros de aguas lluvias debieron ser excluidas, porque la información -pese a estar disponible- no se encuentra sistematizada, requiriendo un proceso manual de revisión de cada uno de los planes, lo cual no fue posible de realizar para la totalidad de las comunas.

A su vez, no se dispone de información a nivel comunal sobre infraestructura de servicios básicos, servicios críticos, infraestructura comercial ni industrial, en términos de ubicación, materialidad, condiciones y edad de la infraestructura. Gran parte de esto requiere de un levantamiento de información en servicios privados, lo que dificulta el proceso de recopilación y sistematización.

Si bien se reconoce su importancia en términos de Sensibilidad, se excluyen aspectos de salud, debido a que las enfermedades previas consideradas, como movilidades reducidas, diabetes, hipertensión o problemas cardiacos, no están en un registro unificado para todo el país y se necesita de un trabajo particular en este ámbito.

### 3.4.5 RESULTADOS

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyeron una serie de mapas para las dimensiones de Amenaza, Exposición, Sensibilidad y Riesgo, cada uno definido por los períodos Presente, Futuro y diferencial.

La **Figura 35** presenta el mapa de la **Amenaza Presente** de inundaciones por desborde de colectores a escala comunal. Este índice se construyó al agregar, mediante la utilización de un promedio ponderado de los indicadores de Amenaza, los períodos de retorno de 5, 10 y 20 años para el escenario Presente, dándole más ponderación al primer período y una menor a los otros dos. De este modo, la Amenaza de que ocurra el evento es mayor si el período de retorno es menor. La distribución muestra que existe mayor concentración de Amenaza alta en zonas del centro-sur del país y Amenaza menor en el norte; a excepción de Iquique, que se presenta una Amenaza alta, dada -posiblemen-

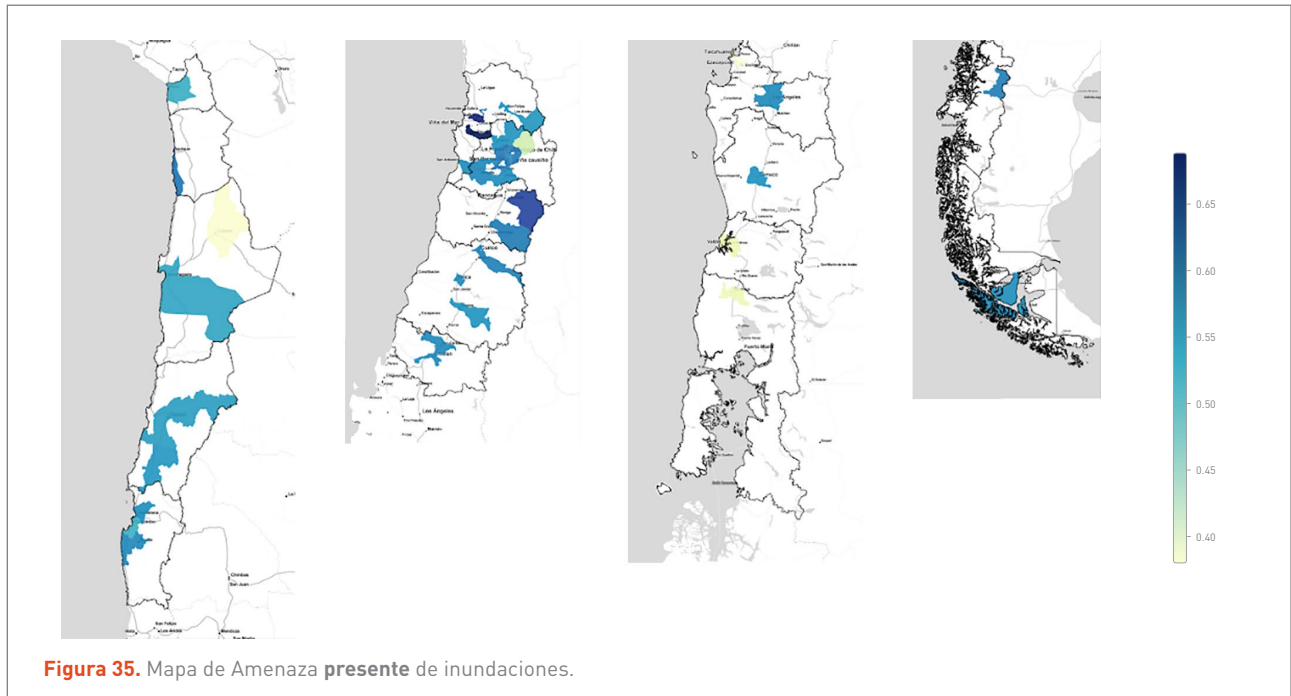


Figura 35. Mapa de Amenaza **presente** de inundaciones.

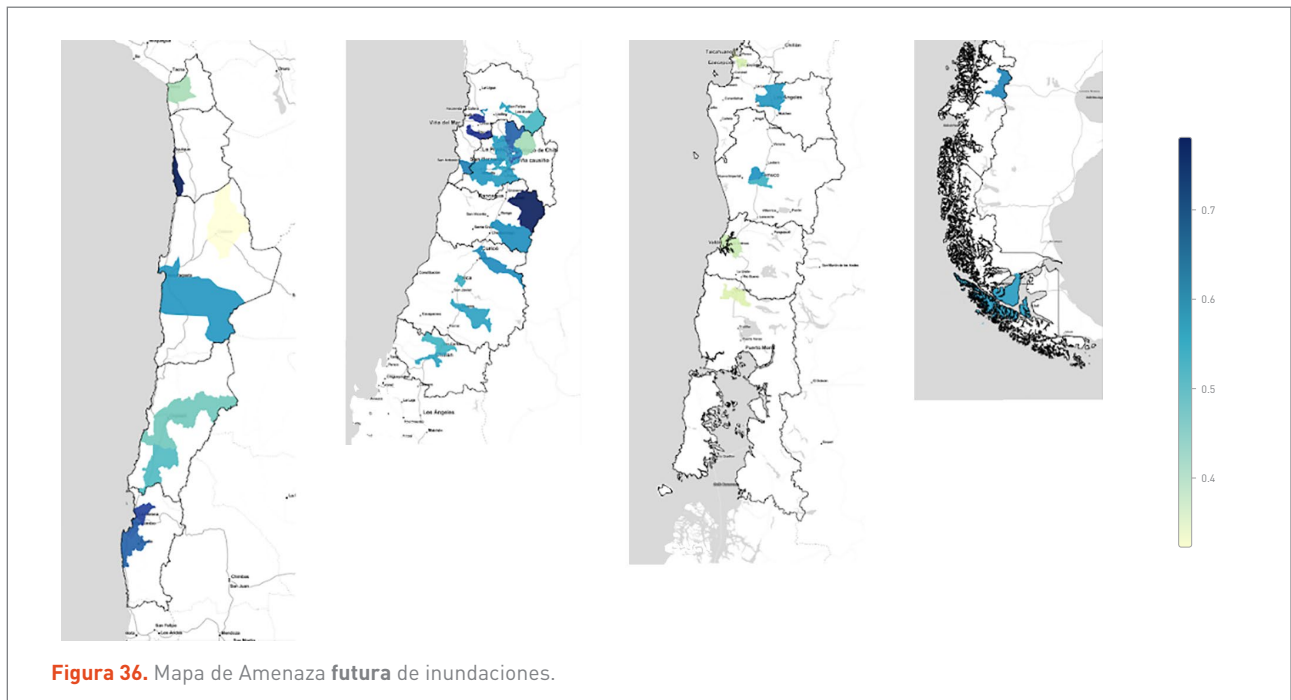


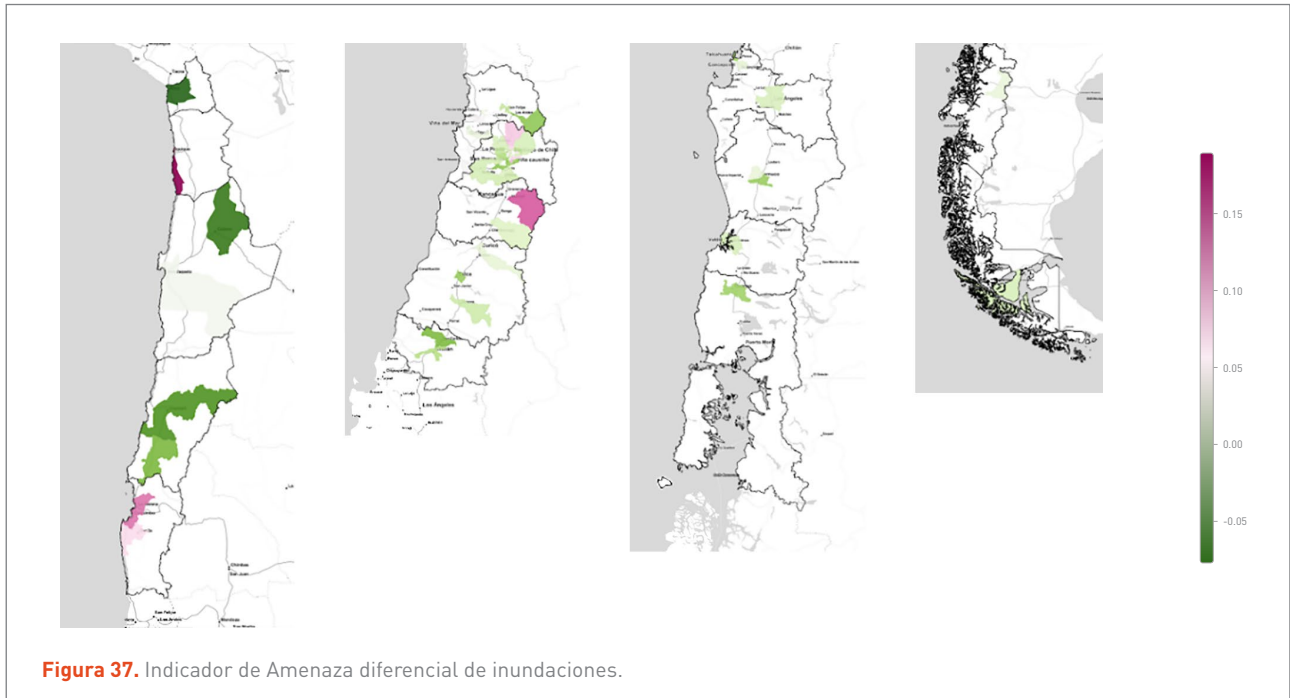
Figura 36. Mapa de Amenaza **futura** de inundaciones.

te- por las deficiencias en infraestructura de colectores de aguas lluvias. Hacia el sur no se identifica un comportamiento homogéneo en los territorios comunales.

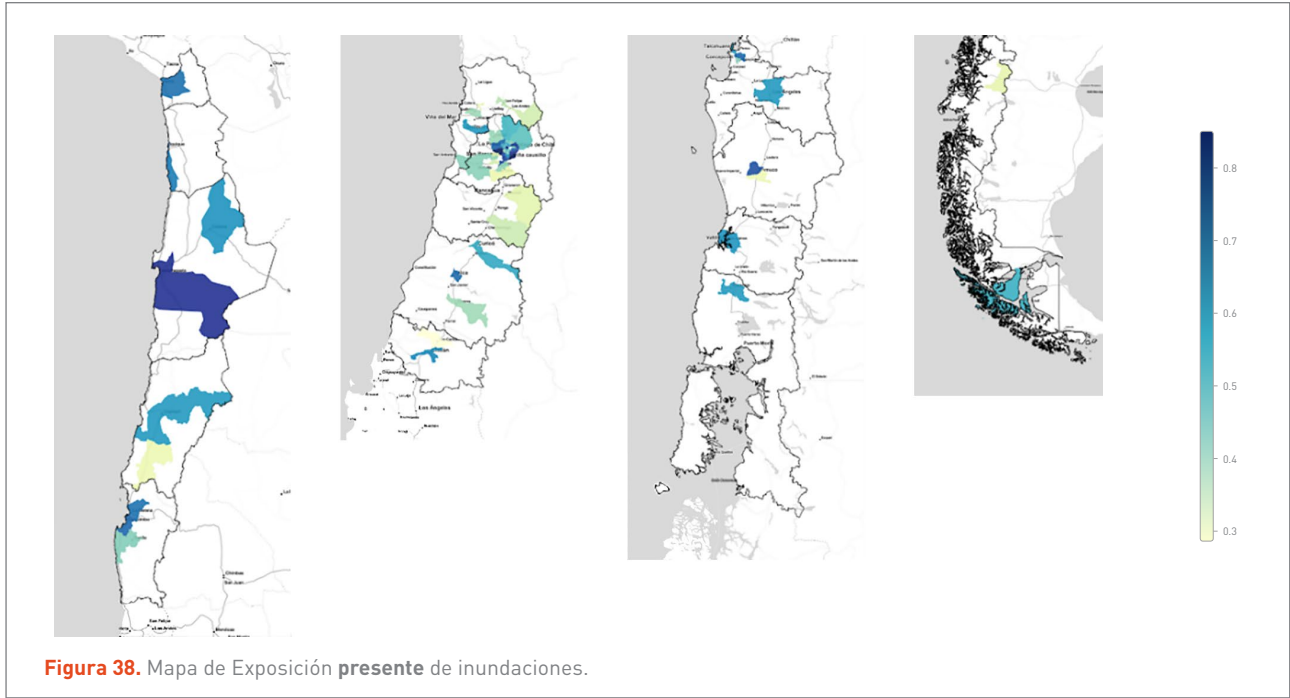
La **Figura 36** presenta el mapa de **Amenaza Futura** para inundaciones por desborde de colectores. Está construido al agregar, mediante la utilización de un promedio

ponderado los indicadores de Amenaza, los períodos de retorno de 5, 10 y 20 años para el escenario Futuro, dándole más ponderación al primer período y una menor a los otros dos. Como se observa, la distribución general de Amenaza Futura no parece tener grandes cambios respecto de su comportamiento a nivel de macrozonas: el centro sur continúa concentrando los más altos ín-





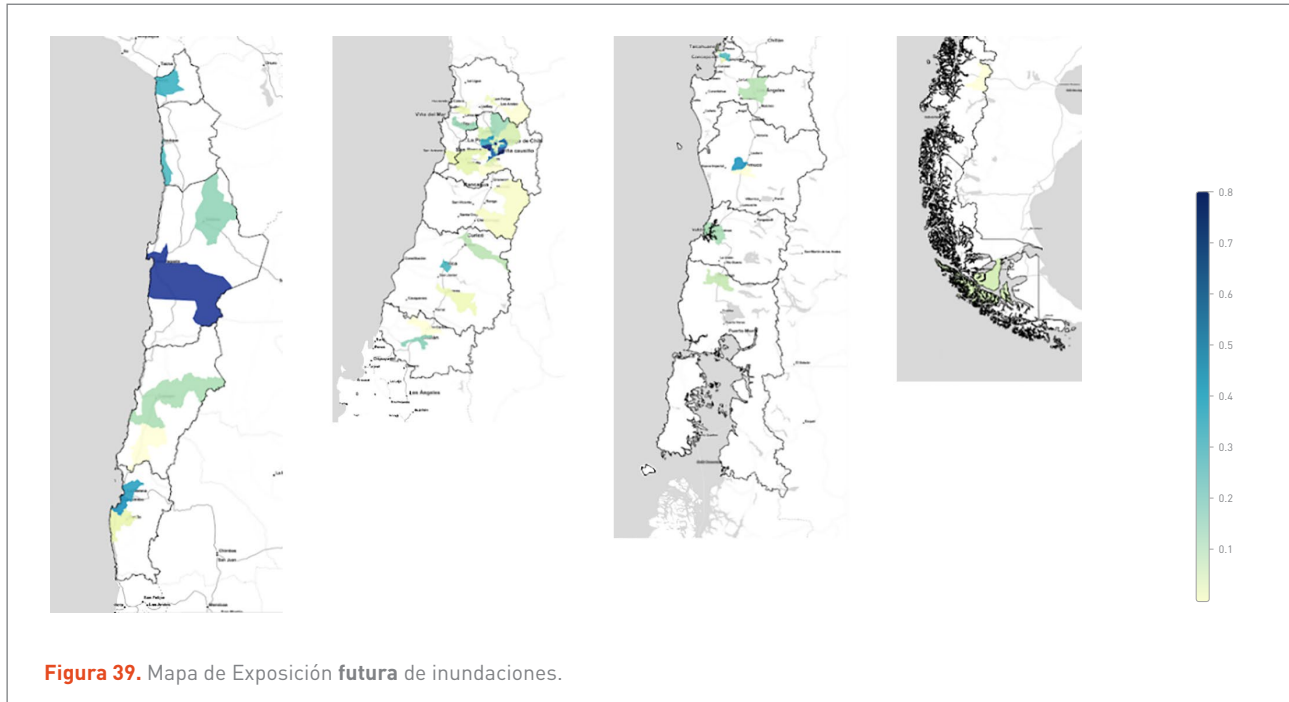
**Figura 37.** Indicador de Amenaza diferencial de inundaciones.



**Figura 38.** Mapa de Exposición presente de inundaciones.

indices a diferencia de la zona norte. Realizando una interpretación detallada es posible distinguir un alto nivel de Amenaza para la comuna de Iquique, a diferencia de comunas cercanas. También se prevé aumento del nivel de Amenaza para algunas comunas de la Región Metropolitana; lo mismo en la Región de Coquimbo, en comunas como Coquimbo, La Serena y Ovalle.

La **Figura 37** expone la diferencia de la Amenaza de inundaciones por desborde de colectores entre los escenarios Presente y Futuro, que podría interpretarse como la variación posible del indicador de Amenaza entre presente y futuro. De este modo, considerando lo señalado para la Amenaza Futura, el incremento de la Amenaza en algunas comunas de la Región Metropolitana no parece ser tan



significativo como el incremento en las comunas de la Serena y Coquimbo; o en la zona norte, en el caso particular de la comuna de Iquique. Al mismo tiempo, se espera una disminución del nivel de Amenaza en algunas comunas de La Araucanía, como Temuco y Padres las Casas; y la comuna de Los Ángeles, en la Región del Biobío.

La **Figura 38** muestra la **Exposición Presente** ante esta Amenaza. Según el mapa, la Región Metropolitana concentra la mayor proporción de población, siguiéndole las principales ciudades del norte del país, como Antofagasta, Copiapó y Arica. Hacia el sur también se identifican ciudades grandes, como Talca, Concepción y Temuco.

La **Figura 39** muestra el indicador de **Exposición Futura**, en base a una proyección de la población al año 2035. Como puede observarse en el mapa, se prevé un alto nivel en comunas de la Región Metropolitana, específicamente, las que pertenecen al gran Santiago, donde se concentra la mayor cantidad de población urbana a nivel nacional. Lo mismo ocurre en el Norte Grande, en el caso de la comuna de Antofagasta, que muestra un índice alto. En comparación al indicador de Exposición Presente, se proyecta una disminución del indicador en la mayoría de las comunas que se incluyeron en el análisis.

La **Figura 40** describe la Sensibilidad ante las inundaciones por desborde de colectores. Según las variables utilizadas, las comunas de la Región Metropolitana y sectores cordilleranos de las regiones de O'Higgins y del Maule, y el caso particular de la comuna de Antofagasta, presentan mayor Sensibilidad en comparación a otras zonas del país. En el proceso de agregación de los indicadores utilizados para construir este indicador de Sensibilidad se otorgó mayor importancia a las condiciones del territorio, por sobre la presencia de población vulnerable y de condiciones de la vivienda, debido a que tienen una relación más directa con la sensibilidad frente a inundaciones. En este sentido, los sectores que tienen un mayor nivel de urbanización presentan un mayor porcentaje de superficie impermeable por acción antrópica; como puede ser el caso de las comunas del gran Santiago, donde -sumando el factor de densidad poblacional-, se evidenciaría una mayor presencia de servicios críticos. En el caso de las comunas cordilleranas cobran sentido las condiciones naturales de permeabilidad de los suelos. Y en el caso de Antofagasta, el gran número de campamentos influye en sus condiciones territoriales. El resto de la variación entre las diferentes comunas recae en las demás categorías de la Sensibilidad (viviendas y población vulnerable).

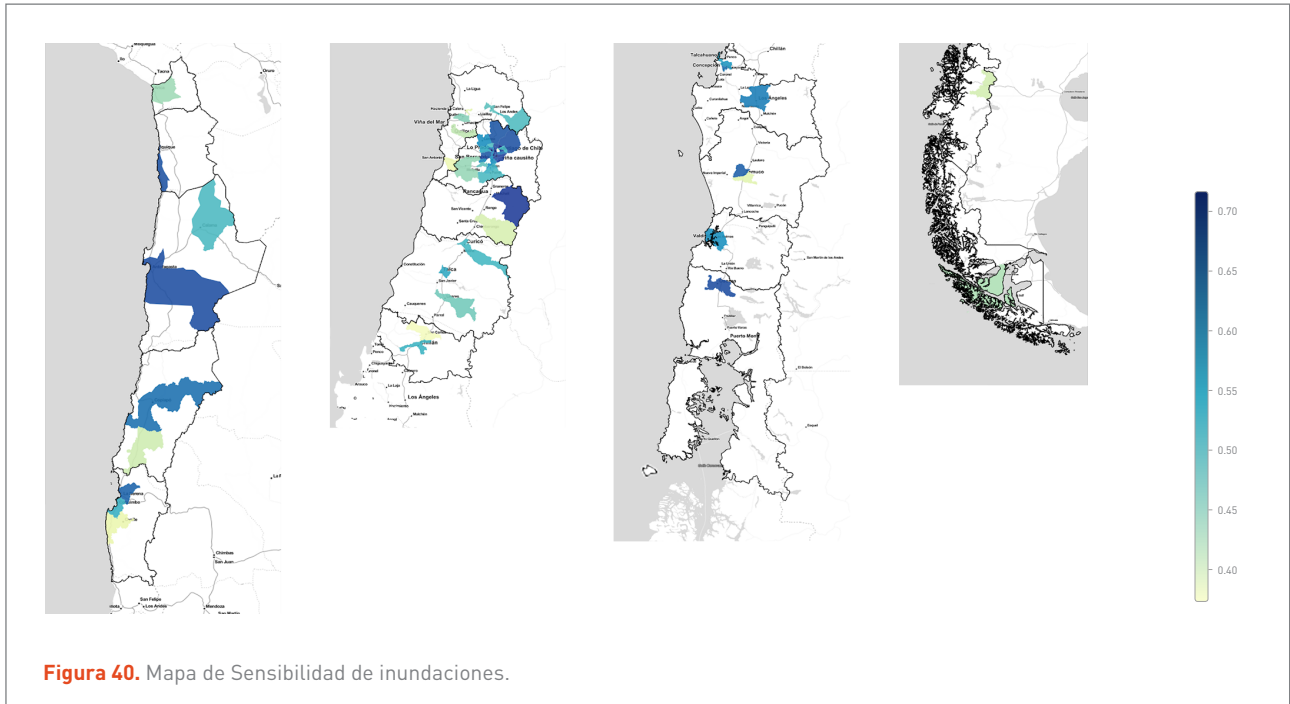


Figura 40. Mapa de Sensibilidad de inundaciones.

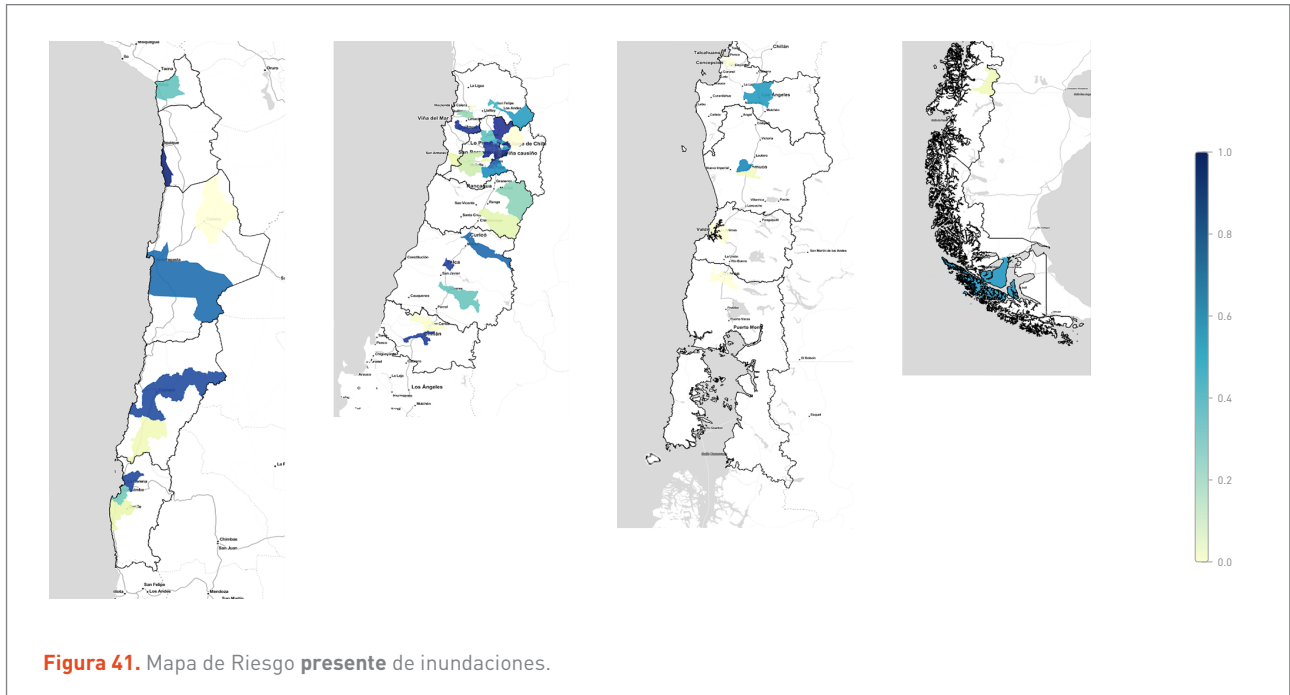
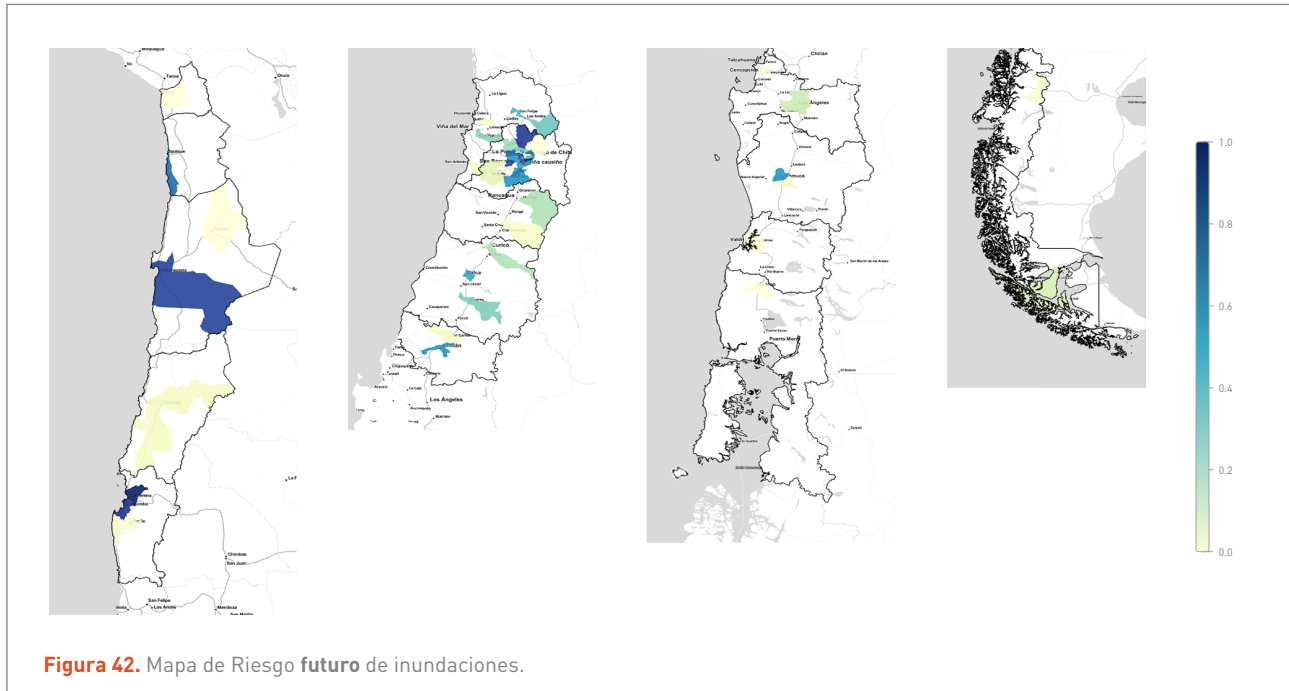


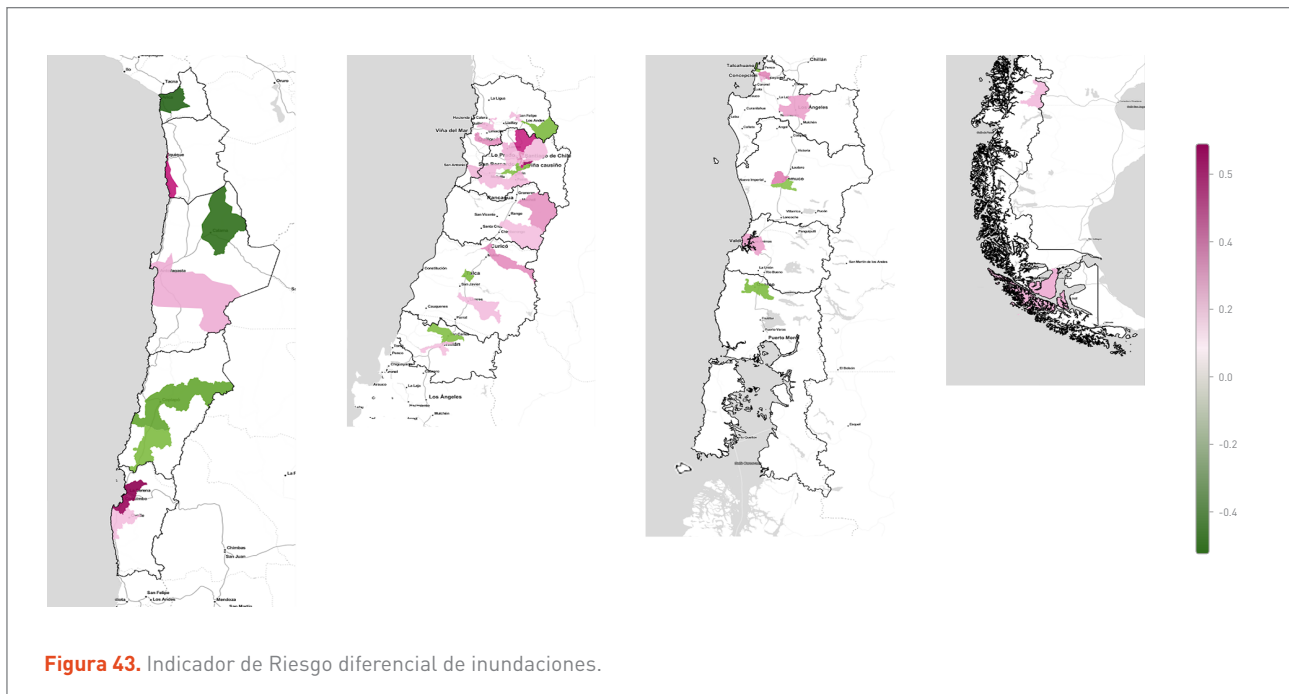
Figura 41. Mapa de Riesgo presente de inundaciones.

Por último, la **Figura 41** presenta el **Riesgo Presente** de esta Amenaza, considerando los indicadores de Amenaza, Exposición y Sensibilidad del territorio en términos de Vulnerabilidad. De manera similar a la Sensibilidad, se observa que el mayor Riesgo se concentraría en comunas de la Región Metropolitana y de O'Higgins, disminuyendo hacia el norte del país, con excepción de Iquique, que

registra Riesgo alto. En el sur se observa un escenario heterogéneo, destacando comunas interiores como Temuco y Padre las Casas por su alto Riesgo, lo mismo que la comuna de Punta Arenas, en la Región de Magallanes. Tomando como ejemplo a la comuna de Iquique, las características de infraestructura de colectores (que forma parte del indicador de Amenaza), en sumatoria con



**Figura 42.** Mapa de Riesgo futuro de inundaciones.



**Figura 43.** Indicador de Riesgo diferencial de inundaciones.

elementos de Sensibilidad y Exposición, explicarían la diferencia en el Riesgo que registra, en comparación con otras comunas de la macrozona norte, teniendo en cuenta que no existen grandes diferencias climáticas.

La **Figura 42** muestra el indicador de Riesgo Futuro. Como observa en la imagen, este índice es alto en algunas

comunas del Norte Grande, como Antofagasta e Iquique; los mismo en la Región de Coquimbo, en las comunas de La Serena, Coquimbo y Ovalle. El índice de Riesgo Futuro también es elevado en la zona centro sur del país.

La **Figura 43** presenta la diferencia entre del índice de Riesgo entre los escenarios Presente y Futuro, que puede





interpretarse como la medida del incremento que se prevé en las diferentes comunas. Al comparar los indicadores de Riesgo Presente y Futuro, destaca la situación de las comunas del Norte Grande, Antofagasta e Iquique, así como las comunas del Norte Chico, Coquimbo, La Sere-

na y Ovalle, donde se evidencia un grado de incremento mayor respecto de todas las comunas del país. El Riesgo también se eleva en la zona centro-sur del país y en algunas comunas que se encuentran hacia el extremo sur (Figura 43).









# 4 DIFERENCIAS Y SIMILITU- DES RESPEC- TO DE OTRAS CADENAS DE IMPACTO

Debido al énfasis del trabajo de este WP, las cadenas presentadas dialogan con otras cadenas de impacto construidas en el marco del presente proyecto. A continuación, se discutirán algunas comparaciones entre los resultados de Asentamientos Humanos y aquellos logrados por otros equipos.

## 4.1 CADENA DE IMPACTO DE CALOR Y LA CADENA DEL GRUPO CIUDADES

---

En primer lugar, la cadena de olas de calor comparte una serie de diagnósticos respecto de las cadenas de impacto de ciudades y sobre salud, que sirven para complementar



los análisis y ofrecer un diagnóstico más robusto de los efectos del cambio climático en los asentamientos urbanos a nivel nacional.

El enfoque utilizado por el grupo de *Ciudades* apunta a describir los efectos de la isla de calor urbana (foco en lo nocturno) y la humedad relativa (foco en lo diurno) sobre el confort térmico de la población, a partir de una consideración del diferencial de temperatura entre campo y ciudad y un análisis de la velocidad del viento en la zona. En Exposición se considera únicamente la población urbana de los 33 centros urbanos más poblados del país. Para analizar la Vulnerabilidad emplea el Índice de Vulnerabilidad Social (SoVI), que considera un total de 23 variables recogidas de fuentes de datos nacionales, representando la desviación de cada ciudad respecto de la media asociada a cada una de estas variables.

En el enfoque empleado por el equipo de *Asentamientos Humanos*, la Amenaza es la presencia (en condiciones de clima Presente, Futuro y Diferencial) de condiciones de calor extremo, asociadas a la existencia de un número elevado de olas de calor o días muy cálidos. La Exposición refiere al total de la población urbana y rural de todas las comunas del país. La Vulnerabilidad se compone de dos factores: la sensibilidad de cada comuna depende de la presencia de grupos vulnerables y de condiciones de sensibilidad territorial; en este último, se incluye la existencia de islas de calor (por lo tanto, aquello que en el grupo de *Ciudades* actúa como una Amenaza, en este caso opera como un factor de Sensibilidad). Adicionalmente, el equipo de *Asentamientos Humanos* considera indicadores asociados a la Capacidad de respuesta de la comuna en términos de servicios de emergencia y capacidad institucional.

Como conclusión, se deja constancia que ambos enfoques son diferentes conceptualmente y, poseen ventajas y desventajas: el enfoque de *Ciudades* permite una mirada más profunda respecto de los efectos de las islas de calor en ciudades de mediano y gran tamaño, mientras que el abordaje de *Asentamientos Humanos* otorga una mirada más integral respecto de las consecuencias asociadas a calor extremo para todas las comunas del país.

## 4.2 CADENAS DE IMPACTO DE SEGURIDAD HÍDRICA URBANA Y RURAL E INUNDACIONES Y LA CADENA DEL GRUPO DE HIDROLOGÍA

---

Con respecto al enfoque de sequía presentado por el grupo de *Asentamientos Humanos*, se debe mencionar que está basado en el concepto de sequía meteorológica, mientras que el grupo de *Hidrología* ha presentado un enfoque de sequía hidrológica.

La **sequía meteorológica** corresponde a un déficit de recursos hídricos y, para poder evaluar su distribución a nivel nacional, se elaboró un indicador que combina la frecuencia de sequías y la evapotranspiración potencial del territorio. Particularmente, la frecuencia de sequías se refiere a la frecuencia de períodos que poseen menos del 75% de precipitación acumulada respecto del período de referencia, mientras que el índice de Evapotranspiración potencial de Penman-Monteith representa una combinación de variables de insolación, temperatura, humedad relativa y viento.

Se reconoce la importancia que estas variables juegan en la generación de la escorrentía superficial en las cuencas y recarga de acuíferos, que constituyen —en un gran número de casos— la fuente de abastecimiento de agua de los sectores rurales que poseen pozos profundos. Sin embargo, el hecho de definir como Amenaza, exclusivamente, desde las variables de precipitación y potencial de evapotranspiración tiene la limitación de homogeneizar las condiciones hidrológicas y ecosistémicas de las cuencas relacionadas con cada comuna, en el sentido de que la disponibilidad del recurso hídrico dependerá de estas últimas características. Para un acercamiento de este estilo, se requiere una modelación hidrológica de la totalidad de las cuencas nacionales si se desea un estudio a nivel nacional, esfuerzo aún en ejercicio por diversos equipos de investigación nacionales.





Por otro lado, la **sequía hidrológica** corresponde a cambios que se producen en los caudales de los ríos, considerando una mayor cantidad de variables que en el enfoque meteorológico. Estas variables son: precipitación, temperatura, humedad del suelo, cobertura de las cuencas, acumulación de nieve, entre otras. De esta forma, el enfoque hidrológico posee una mejor representación de los caudales en las cuencas, al incluir más variables. Sin embargo, se debe mencionar que se cuenta con datos hidrológicos en un número limitado de cuencas en el territorio nacional, por lo que la cantidad de comunas en las cuales se puede modelar la sequía hidrológica es limitada y representa un enfoque territorial acotado. Al considerar una sequía meteorológica, se logra generar una variación futura con dominio espacial continuo, logrando estimar indicadores para la totalidad de comunas en el territorio nacional.

Además, el grupo de *Asentamientos Humanos* incorporó dentro del análisis de Sensibilidad territorial, indicadores que permiten evidenciar la falta de agua, como el estrés hídrico basal, la permanencia de los decretos de escasez y el sobreotorgamiento declarado por la DGA en áreas de restricción y prohibición. El estrés hídrico basal fue estimado según el modelo global Aqueduct (2019), herramienta generada por el World Resources Institute (WRI), que analiza la razón entre los retiros y el recurso hídrico

disponible. Por otra parte, la generación de instrumentos en épocas de escasez se fundamenta en la evidencia de disminución de agua. Los decretos de escasez se promulgan bajo el fundamento de sequía hidrometeorológica y su permanencia en los territorios manifiesta una perpetuación de los efectos de la sequía. El sobreotorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Agua en zonas de restricción declarado por la DGA, en tanto, reconoce que la cantidad de extracciones entregadas en las cuencas es mayor que lo posible de cubrir por el recurso hídrico disponible, considerando sus requerimientos ecológicos, lo que entrega un panorama sobre la escasez hídrica que pueden experimentar distintos usuarios de agua.

Como conclusión, ambos enfoques son diferentes conceptualmente y, poseen ventajas y desventajas, siendo la principal diferencia el trade-off entre cobertura espacial y profundidad de la estimación, donde el trabajo del WP de Asentamientos Humanos es más amplio, pero más general; mientras que el trabajo del WP de Hidrología es más acotado, pero con mayor profundidad en su análisis. A pesar de lo anterior, se destaca la consistencia entre los mapas de Riesgo generados por ambos grupos.







# 5

## CONCLU- SIONES

Este informe describe las cadenas de impacto y mapas de Riesgo asociados con el impacto de olas de calor, sequía e inundaciones respecto de salud humana, inseguridad doméstica urbana y rural, y condiciones de la vivienda y acceso a servicios críticos. Estos resultados son particularmente relevantes, no solo en términos de generación de conocimiento, sino también como insumo para la política pública. El cambio climático no refiere a un posible suceso futuro, sino a algo que ya está significativamente afectando nuestro país (CR2, 2015) y que se combina con condiciones de Vulnerabilidad preexistentes, tanto socioeconómicas (pobreza, desigualdad, segregación territorial), como socioecológica (contaminación, degradación de ecosistemas, sobreexplotación de recursos, etc). Sin embargo, la gradual intensificación del fenómeno en el futuro tendrá consecuencias en términos del agravamiento de los actuales riesgos, de la extensión de las zonas afectadas y de fenómenos ante los cuales es preciso prepararse ahora.

Por lo mismo, es necesario contar con una base conceptual y empíricamente sólida, construida participativamente por científicos, *stakeholders* y tomadores de decisiones, de modo de enfrentar los riesgos generados por el cambio

climático. Los análisis aquí presentados buscan ser un primer paso en esa dirección, ofreciendo una plataforma común para guiar, ya sea el diseño de estrategias de adaptación, la construcción de una opinión pública informada sobre el fenómeno o la producción de mayor evidencia sobre los impactos diferenciados en los distintos territorios y poblaciones del país.

En particular, una de las principales ventajas del marco conceptual utilizado es su reconocimiento de la complejidad de las Amenazas producidas por el cambio climático. Por una parte, este marco demuestra la importancia de utilizar un abordaje analítico integrado y estandarizado. En efecto, la herramienta de las cadenas de impacto permite levantar información de distintos actores respecto del impacto de las olas de calor, la inseguridad hídrica doméstica urbana, la inseguridad hídrica doméstica rural, las inundaciones y la pobreza energética, rescatando investigaciones interdisciplinarias de corte sectorial y social. Por otra, el enfoque usado ofrece la posibilidad de operacionalizarse con fuentes estadísticas individuales, comunitarias y sectoriales, a la vez de vincularse con los desarrollos científicos más recientes dentro del campo de estudios sobre resiliencia socioecológica.



La metodología empleada por este estudio, que combina la co-construcción participativa de cadenas de impacto con el empleo de herramientas de *fuzzy logic* para el procesamiento cuantitativo de índices, ha resultado de gran pertinencia para la investigación. Entre sus ventajas destaca el que permite generar esquematizaciones y procesamientos del Riesgo socialmente robustos y apropiables por los actores que utilizarán la herramienta en el futuro; hace posible integrar distintos tipos de datos e información, no necesariamente conmensurables entre sí, por medio de reglas lógicas expresables lingüísticamente y validables colectivamente; y, finalmente, se caracteriza por ser escalable, modular y dar cabida a nuevos datos que surjan en el futuro.

A pesar de lo anterior, es necesario reconocer la existencia de una serie de desafíos pendientes para el levantamiento de información sobre el impacto de las olas de calor, la inseguridad hídrica doméstica urbana, la inseguridad hídrica doméstica rural, las inundaciones y la pobreza energética. En primer lugar, existe una brecha considerable en términos de disponibilidad de datos a escala comunal y nacional, que permitan evaluar el Riesgo de manera robusta. Las cadenas de impacto y mapas de Riesgo presentados en este informe deben considerarse *proxis* formulados en base a la mejor información actualmente disponible, pero no representaciones exactas de las condiciones de Riesgo y Vulnerabilidad climática en Chile. Por ejemplo, tal como lo discutido en la sección “Validación de la cadena de impacto y de los indicadores” de cada cadena de impacto, será importante avanzar en generar más información en aspectos como:

- Indicadores que permitan determinar las islas de calor de las ciudades del país (ej. calidad de arboleada urbana en una resolución lo suficientemente detallada).
- Información más robusta y a escala comunal sobre preexistencias de condiciones de salud que aumentan las probabilidades de problemas cardiovasculares (ej. diabetes, tabaquismo).
- Información más precisa sobre la disponibilidad y calidad de recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, y sus tendencias históricas.

- Información sobre cantidad y calidad del agua provista por los sistemas de agua potable rural, así como sobre el funcionamiento, tamaño, acceso a recursos e inversión en infraestructura de estos.

- Información detallada sobre la asignación de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y de la extracción efectiva por distintos tipos de usuarios, de modo de evaluar la situación de explotación de cada cuenca y la disponibilidad de dichos derechos para las APR.

- Información hidrogeológica asociada a los puntos de captación (especialmente, aquellos ubicados cercano a la costa).

- Información sobre el estado de colectores y áreas de inundación para comunas de menor tamaño, que no cuentan actualmente con planes maestros de agua lluvia.

- Infraestructura de servicios básicos y críticos, infraestructura comercial e industrial, en términos de ubicación, materialidad, condiciones y edad de la infraestructura.

- Infraestructura y obras de abrigo, que entreguen protección contra inundaciones.

Dos déficit son particularmente importantes. Por una parte, el escaso grado de desarrollo de información que permita progresar desde un enfoque centrado en la escala comunal hacia un análisis que provea información para la toma de decisiones a nivel local. En efecto, las brechas de información mencionadas anteriormente tienden a hacerse más marcadas en el nivel subcomunal (e, incluso más, en escalas transversales a las delimitaciones comunales, por ejemplo, a nivel de las cuencas), dejando en evidencia, además, una importante desigualdad en la disponibilidad y accesibilidad de información en las distintas comunas del país.

Por otro, la falta de herramientas que permitan combinar los resultados de la aplicación de distintas cadenas de impacto a nivel de un índice integrado, que caracterice el Riesgo que sufren los asentamientos humanos, en su conjunto, a nivel nacional. En este contexto, existe una





insuficiencia, tanto en términos de esfuerzos analíticos dirigidos a analizar de manera conjunta los múltiples tipos de riesgos que afectan conjuntamente a un territorio o una población, como en generar una comprensión más profunda de las características que pueden hacer estos territorios o poblaciones resilientes frente a esos riesgos. En este sentido, se destaca la importancia de avanzar en esfuerzos constantes para recopilar, sistematizar y hacer disponible la variedad de indicadores secundarios existentes en el país. Dichos esfuerzos debiesen concretarse en la forma de una plataforma o portal web que contenga un repositorio de información, tal como el sugerido en el actual proyecto de Ley de Cambio Climático. Este repositorio debería poder ser consultado y alimentado por una variedad de actores (públicos, privados, académicos) y contener un catálogo indizado (y lo más posible georeferenciado) de datos, estudios e informaciones actualizadas respecto de un conjunto de sistemas y variables de interés en términos de Riesgo climático; lo mismo que catastros

de Exposición e indicadores que permitan evaluar la Vulnerabilidad y resiliencia de distintos territorios.

A su vez, esta plataforma debería fomentar una mayor articulación entre organismos científicos, públicos y privados, en la generación, refinamiento, actualización y difusión pública de información, que permita análisis de Riesgo más detallado y robusto, más integral y pertinente desde el punto de vista territorial. Así, podrá contribuir al diseño, implementación y evaluación de políticas públicas de adaptación, fundadas en evidencia relevante para los diferentes sectores, poblaciones y las diferentes escalas territoriales del país. Con el fin de cumplir esta función, se considera que el portal y su repositorio debiesen ser promovidos y mantenidos por el Ministerio de Medio Ambiente, pero con la participación transversal de otros servicios del Estado y la colaboración directa del Ministerio de Ciencia.





# 6

## REFE- RENCIAS

Abid, M., Schilling, J., Scheffran, J., & Zulfiqar, F. (2016). Climate change vulnerability, adaptation and risk perceptions at farm level in Punjab, Pakistan. *Science of The Total Environment*, 547, 447–460. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.11.125.

Acosta-Michlik, L., Kumar, K.S., Klein, & R.J., Campe, S. (2008) Assessing state susceptibility from a socio-economic perspective for the development and application of security diagrams. *Reg Environ Change* 8: 151-160. Doi: 10.1007/s10113-008-0058-4.

Adams, E. A., Stoler, J., & Adams, Y. (2019). Water insecurity and urban poverty in the Global South: Implications for health and human biology. *American Journal of Human Biology*, 32(1). doi:10.1002/ajhb.23368.

Adeleye, B., Popoola, A., Sanni, L., Zitta, N. & Ayangbile, O. (2019). Poor development control as flood vulnerability factor in Suleja, Nigeria. *Town and Regional Planning*, 74, 23–35. <https://doi.org/10.18820/2415-0495/trp74i1.3>.

Ahmed, T., Scholz, M., Al-Faraj, F., & Niaz, W. (2016). Water-Related Impacts of Climate Change on Agriculture and Subsequently on Public Health: A Review for Generalists with Particular Reference to Pakistan. *International journal of environmental research and public health*, 13(11). doi: 10.3390/ijerph13111051.

Aitken D., Rivera D., Godoy-Faúndez A., & Holzapfel, E. (2016). Water scarcity and the impact of the mining and agricultural sectors in Chile. *Sustainability*, 8(128). doi: 10.3390/su802012.

Ajibade, I., McBean, G., & Bezner-Kerr, R. (2013). Urban flooding in Lagos, Nigeria: Patterns of vulnerability and resilience among women. *Global Environmental Change*, 23(6), 1714–1725. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2013.08.009.

Araya-Muñoz, D., Metzger, M., Stuart, N., Wilson, M., & Alvarez, L (2016) "Assessing Urban Adaptive Capacity to Climate Change." *Journal of Environmental Management* 183: 314–24. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.08.060>.



- Araya-Muñoz, D., Metzger, M., Stuart, N., Wilson, M., & Carvajal, D. (2017) "A Spatial Fuzzy Logic Approach to Urban Multi-Hazard Impact Assessment in Concepción, Chile." *Science of the Total Environment* 576: 508–19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.077>.
- Åström D., Forsberg B, & Rocklöv J. (2011). Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: A review of recent studies. *Maturitas*, 69(2), 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.03.008>.
- Auger, N., Rhéaume, M.-A., Bilodeau-Bertrand, M., Tang, T., & Kosatsky, T. (2017). Climate and the eye: Case-crossover analysis of retinal detachment after exposure to ambient heat. *Environmental Research*, 157, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.017>.
- Bizimana J.P., & Schilling M. (2010) Geo-Information Technology for Infrastructural Flood Risk Analysis in Unplanned Settlements: A Case Study of Informal Settlement Flood Risk in the Nyabugogo Flood Plain, Kigali City, Rwanda. En: Showalter P., & Lu Y. (eds) *Geospatial Techniques in Urban Hazard and Disaster Analysis. Geotechnologies and the Environment* (Springer ed., Vol.2, Dordrecht).
- Boulos, P. F. (2017). Smart Water Network Modeling for Sustainable and Resilient Infrastructure. *Water Resources Management*, 31(10), 3177–3188. doi:10.1007/s11269-017-1699-1.
- Chan, F. K. S., Griffiths, J. A., Higgitt, D., Xu, S., Zhu, F., Tang, Y.-T., ... Thorne, C. R. (2018). "Sponge City" in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, 76, 772–778. doi: 10.1016/j.landusepol.2018.03.005.
- Chatterjee, M. (2010). Slum dwellers response to flooding events in the megacities of India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(4), 337–353. doi:10.1007/s11027-010-9221-6.
- Chung, S., Cheong, H., Park, J.-H., Kim, J.-H., & Han, H. (2017). Current and Projected Burden of Disease from High Ambient Temperature in Korea. *Epidemiology*, 28, 98–105. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000731>.
- CR2 (Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia) (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*. Santiago de Chile: Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. Recuperado de <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>.
- Departamento de Estadística e Información de Salud (DEIS) (2019). Listado de establecimientos de salud [Base de datos]. Recuperado de <http://www.deis.cl/estadisticas-recursosalud/>.
- Di Baldassarre, G., Montanari, A., Lins, H., Koutsoyiannis, D., Brandimarte, L., & Blöschl, G. (2010). Flood fatalities in Africa: From diagnosis to mitigation. *Geophysical Research Letters*, 37(22). doi:10.1029/2010gl045467.
- Di Baldassarre, G., Viglione, A., Carr, G., Kuil, L., Salinas, J. L., & Blöschl, G. (2013). Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8), 3295–3303. doi:10.5194/hess-17-3295-2013.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2018). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de las macrozonas norte y centro. SIT N° 435. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios Planificación, Santiago, Chile. Realizado por Fundación para la Transferencia Tecnológica y Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2019). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en la macrozona sur y parte norte de la macrozona austral. SIT N° 441. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Elaborado por: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Dirección General de aguas (enero, 2015) Áreas de restricción y Zonas de prohibición Enero 2019 [Base de datos]. Recuperado de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/default.aspx#siete>.



- Dos Santos, S., Adams, E. A., Neville, G., Wada, Y., de Sherbinin, A., Mullin Bernhardt, E., & Adamo, S. B. (2017a). Urban growth and water access in sub-Saharan Africa: Progress, challenges, and emerging research directions. *Science of The Total Environment*, 607-608, 497-508. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.06.157.
- Dos Santos, SM., & De Farias, M.M.M.W.E.C. (2017a). Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 8. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.251.
- Dottori, F., Szewczyk, W., Ciscar, J.-C., Zhao, F., Alfieri, L., Hirabayashi, Y., Bianchi, A., Mongelli, I., Frieler, K., Betts, R.A., & Feyen, L. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*. 8,781-786 doi:10.1038/s41558-018-0257-z.
- Finch, C., Emrich, C.T. & Cutter, S.L. (2010). Disaster disparities and differential recovery in New Orleans. *Popul Environ*, 31, 179-202. <https://doi.org/10.1007/s11111-009-0099-8>.
- Flick, U. 2007. *Introducción a La Investigación Cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata.
- Fragkou, M. C., & McEvoy, J. (2016). Trust matters: Why augmenting water supplies via desalination may not overcome perceptual water scarcity. *Desalination*, 397, 1-8. doi: 10.1016/j.desal.2016.06.007.
- Fuster, R., Escobar, C., Silva, K., & Astorga, K. (2017). Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para la elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático. Informe Final. Documento preparado por el Laboratorio de Análisis Territorial (LAT), Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Fuster, R., Jara, P., Vidal, K., & Abellá, F. (2016). Estado del arte y desafíos en los servicios sanitarios rurales. Informe final. Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Recuperado de: [https://b7aae0f8-6c29-4450-af5f-531e13aaf309.filesusr.com/ugd/70efef\\_c7337ddf1785429b9081fdf-9265bfc6d.pdf](https://b7aae0f8-6c29-4450-af5f-531e13aaf309.filesusr.com/ugd/70efef_c7337ddf1785429b9081fdf-9265bfc6d.pdf).
- Gampe, D., Nikulin, G., & Ludwig, R. (2016). Using an ensemble of regional climate models to assess climate change impacts on water scarcity in European river basins. *Science of The Total Environment*, 573, 1503-1518. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.053.
- Garofalo, G., Giordano, A., Piro, P., Spezzano, G., & Vinci, A. (2017). A distributed real-time approach for mitigating CSO and flooding in urban drainage systems. *Journal of Network and Computer Applications*, 78, 30-42. doi: 10.1016/j.jnca.2016.11.004.
- Garreaud, R.D., Alvarez-Garreton, C., Barichivich, J., Boisier, J.P., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 mega drought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21, 6307-6327. doi:<https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>.
- Gatto, M. P., Cabella, R., & Gherardi, M. (2016). Climate change: The potential impact on occupational exposure to pesticides. *Ann Ist Super Sanità*, 52, 374-385. [https://doi.org/10.4415/ANN\\_16\\_03\\_09](https://doi.org/10.4415/ANN_16_03_09).
- Ge, Y., Yang, G., Chen, Y., & Dou, W. (2019). Examining Social Vulnerability and Inequality: A Joint Analysis through a Connectivity Lens in the Urban Agglomerations of China. *Sustainability*, 11(4), 1042. doi:10.3390/su11041042
- 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.
- Green Lab UC y Subsecretaría del Medio Ambiente. (2012). Identificación de Impactos, Evaluación de Vulnerabilidad del Sector Salud frente al Cambio Climático y Propuestas de Adaptación. Santiago de Chile: Subsecretaría del





- Medio Ambiente. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/02/Plan-de-Adaptacion-al-CC-para-Salud-Version-Final.pdf>.
- Grenne S., Wilson E., Konty K. & Fine A. (2013) Assessment of reportable disease incidence after Hurricane Sandy, New York City, 2012. *Disaster Med Public Health Prep*;7(5), 513-521. doi:10.1017/dmp.2013.98.
- Grove, M., Ogden, L., Pickett, S., Boone, C., Buckley, G., Locke, D. H., Lord, C., & Hall, B. (2018). The Legacy Effect: Understanding How Segregation and Environmental Injustice Unfold over Time in Baltimore. *Annals of the American Association of Geographers*, 108(2), 524–537. doi:10.1080/24694452.2017.1365585.
- Hanke, H., & Barkmann, J. (2017). Insurance function of livestock: farmer's coping capacity with regional droughts in south western Madagascar. *World Development*, 96, 264-275. DOI:
- He, C., Ma, L., Zhou, L., Kan, H., Zhang, Y., Ma, W., & Chen, B. (2019). Exploring the mechanisms of heat wave vulnerability at the urban scale based on the application of big data and artificial societies. *Environment International*, 127, 573–583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.057>.
- Hegger, D., Lamers, M., van Zeijl-Rozema, A., & Dieperink, C. (2012). Conceptualising joint knowledge production in regional climate change adaptation projects: success conditions and levers for action. *Environmental Science & Policy*, 18, 52–65. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.01.002>.
- Hejduková, P., & Kureková, L. (2020). Water scarcity: regional analyses in the Czech Republic from 2014 to 2018. *Oeconomia Copernicana*, 11(1), 161-181. <https://doi.org/10.24136/oc.2020.007>.
- Ho, H. C. (Derrick), Lau, K., Ren, C., & Ng, E. (2017). Characterizing prolonged heat effects on mortality in a sub-tropical high-density city, Hong Kong. *International Journal of Biometeorology*, 61, 1935–1944. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1383-4>.
- Huang, Xj., Huang, X., He, Yb., & Yang, Xj. (2017). Assessment of livelihood vulnerability of landlost farmers in urban fringes: A case study of Xi'An, China. *Habitat International*, 59, 1-9. DOI: 10.1016/J.HABITATINT.2016.11.001.
- Huong, H. T. L., & Pathirana, A. (2013). Urbanization and climate change impacts on future urban flooding in Can Tho city, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 379–394. doi:10.5194/hess-17-379-2013.
- Huynh, P., & Resurreccion, B. (2014). Women's differentiated vulnerability and adaptations to climate-related agricultural water scarcity in rural central Vietnam. *Climate and Development*, 6(3), 226-237. doi: 10.1080/17565529.2014.886989. Huang, X., Huang, X.,
- Hyland, M., & Russ, J. (2019). Water as destiny - the long - term impacts of drought in Sub-Saharan Africa. *World Development*, 115, 30-45. doi: 10.1016/J.WORLDDEV.2018.11.002.
- Ilustre Municipalidad de Renca & ADAPT-Chile, (2019). Plan Local de Cambio Climático Comuna de Renca 2019. Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Estadística (2017). Censo 2017 [Fichero de datos]. Recuperado de <http://www.censo2017.cl/microdatos/>.
- IPCC (2014). Cambio Climático 2014, Impactos, adaptación y Vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change. <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- Irvin, R. A., & Stansbury, J. (2004). Citizen Participation in Decision Making: Is It Worth the Effort?.



- Jagnoor, J., Rahman, A., Cullen, P., Chowdhury, F. K., Lukaszuk, C., Baset, K. ul, & Ivers, R. (2019). Exploring the impact, response and preparedness to water-related natural disasters in the Barisal division of Bangladesh: a mixed methods study. *BMJ Open*, 9(4), e026459. doi:10.1136/bmjopen-2018-026459.
- Jené, X (2008). Acceso al agua potable. Monográfico 2, Alianza por el Agua. Fundación Ecología y Desarrollo. Zaragoza. Recuperado de <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO2.pdf>.
- Juhyeon, P., & Kim, J. (2018). Defining heatwave thresholds using an inductive machine learning approach. *PLoS ONE*, 13(11): e0206872. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206872>
- Kanae, S. (2009). Global Warming and the Water Crisis. *Journal of Health Science*, 55(6), 860–864. doi:10.1248/jhs.55.860.
- Kapoor, V., Gupta, I., Pasha, A. B. M. T., & Phan, D. (2018). Real-Time Quantitative PCR Measurements of Fecal Indicator Bacteria and Human-Associated Source Tracking Markers in a Texas River following Hurricane Harvey. *Environmental Science & Technology Letters*, 5(6), 322–328. doi: 10.1021/acs.estlett.8b00237.
- Khatibi, S., Golkarian, A., Mosaedi, A., & Qeidari, H. (2019). Assessment of Resilience to Drought of Rural Communities in Iran. *Journal of Social Service Research*, 45, 1–15. <https://doi.org/10.1080/01488376.2018.1479342>.
- Kinay, P., Morse, A. P., Villanueva, E. V., Morrissey, K., & Staddon, P. L. (2018). Direct and indirect health impacts of climate change on the vulnerable elderly population in East China. *Environmental Reviews*, 27(3), 295-303. doi:10.1139/er-2017-0095.
- Kumar, M. M., Manohar, U., Pallavi, M. R. M., & Anjana, G. R. (2013). Urban water supply and management. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(2), 295-318. Recuperado de: <https://journal.iisc.ac.in/index.php/iisc/article/view/1363/2476>.
- Laborde, A., Tomasina, F., Bianchi, F., Bruné, M.N., Buka, I., Comba, P., Corra, L., Cori, L., Christin, M.D., Harari, R., Iavarone, I., McDiarmid, M., Gray, k., Sly, P., Soares, A., Soares, A., Suk, W., & Landrigan, P. J. (2015). Children's Health in Latin America: The Influence of Environmental Exposures. *Environmental Health Perspectives*, 123(3) 201-209 doi:10.1289/ehp.1408292.
- Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M., & Thomas, C. J. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability Science*, 7(S1), 25–43. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0149-x>.
- Li, J., Xu, X., Ding, G., Zhao, Y., Zhao, R., Xue, F., Li, J., Gao, J., Yang, J., Jiang, B., Liu, Q. (2016). A Cross-Sectional Study of Heat Wave-Related Knowledge, Attitude, and Practice among the Public in the Licheng District of Jinan City, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 648, doi: 10.3390/ijerph13070648.
- Mees, H. L. P, Driessen, P. P. J, & Runhaar, H. A. C. (2015). "Cool" governance of a "hot" climate issue: public and private responsibilities for the protection of vulnerable citizens against extreme heat. *Regional environmental change*, 15(6), 1065-1079. doi: 10.1007/s10113-014-0681-1.
- Mertens, A., Balakrishnan, K., Ramaswamy, P., Rajkumar, P., Ramaprabha, P., Durairaj, N., Hubbard, A., Khush, R., Colford, Jm., & Arnold, B. (2019). Associations between high temperature, heavy rainfall, and diarrhea among young children in rural Tamil Nadu, India: A prospective cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 127(4). doi: 10.1289/EHP3711.
- Ministerio de Desarrollo Social (MIDEPLAN) (2015). CASEN 2015: Encuesta de caracterización socioeconómica nacional [Archivo de datos]. Recuperado de <http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen-multidimensional/casen/basedatos.php>.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA). (2014). Plan Nacional de adaptación al Cambio Climático. Departamento de



- Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile.
- Ministerio de Medio Ambiente, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo & Centro de Cambio Global UC. (2011) Fortalecimiento de Capacidades de los Encargados de la Formulación de Políticas para hacer frente al Cambio Climático en Iberoamérica. Evaluación del Impacto Social del Cambio Climático en Chile.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). 2020. Mesa Nacional del Agua, Primer Informe. Recuperado de: [https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa\\_Nacional\\_del\\_Agua\\_2020\\_Primer\\_Informe\\_Enero.pdf](https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf).
- Ministerio de Obras Públicas. (2018). Diagnóstico de la Vulnerabilidades las Obras del MOP y Medidas de Adaptación al Cambio Climático
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (2019). Catastro nacional de campamentos 2019 [Base de datos]. Recuperado de: <https://www.minvu.cl/catastro-de-campamentos/>.
- Mohit, M. & Akhter M. (2000). Delineation of flood damaged zones of Dhaka City based on the 1998 flood by using GIS. En: Ali, A., Seraj, S. & Ahmed, S. (eds) *Engineering Concerns of Flood* (Bangladesh University of Engineering and Technology. Ed)
- Nairn, J. R., & Fawcett, R. J. B. (2015). The Excess Heat Factor: A Metric for Heatwave Intensity and Its Use in Classifying Heatwave Severity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 227–253. <https://doi.org/10.3390/ijerph120100227>.
- Ngar-Yin Mah, D., & Hills, P. (2014). Collaborative Governance for Technological Innovation: A Comparative Case Study of Wind Energy in Xinjiang, Shanghai, and Guangdong. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 32(3), 509–529. <https://doi.org/10.1068/c11101>.
- Nicolay, M., Brown, L., Johns, R., & Ialynytchev, A. (2016). A study of heat related illness preparedness in homeless veterans. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, 72–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.05.009>.
- Noelke, C., McGovern, M., Corsi, D., Jimenez, M., Stern, A., Wing, I., & Berkman, L. (2016). Increasing ambient temperature reduces emotional well-being. *Environmental Research*, 151, 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.06.045>.
- Opher, T., Friedler, E., & Shapira, A. (2019). Comparative life cycle sustainability assessment of urban water reuse at various centralization scales. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(7), 1319–1332. doi: 10.1007/s11367-018-1469-1.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2010). Gestión del Riesgo de sequía y otros eventos extremos en Chile, Estudio Piloto sobre la Vulnerabilidad y la Gestión Local del Riesgo. Informe Región de Coquimbo. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/as391s/as391s.pdf>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la cultura. Oficina de Santiago (2011). Análisis de riesgos de desastres en Chile. VII Plan de acción DIPECHO EN SUDAMERICA 2011-2012.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la ciencia y la cultura. Oficina de Santiago (2011). Análisis de riesgos de desastres en Chile. VII Plan de acción DIPECHO EN SUDAMERICA 2011-2012.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad de agua potable, Vol 1: Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3rev/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/es/).
- Oven, K. J., Curtis, S. E., Reaney, S., Riva, M., Stewart, M. G., Ohlemüller, R., Dunn, C.E., Nodwell, S., Dominelli, L., & Holden, R. (2012). Climate change and health and social care: Defining future hazard, vulnerability and risk for infrastructure systems supporting older people's health care in England. *Applied Geography*, 33, 16–24. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.05.012.



- Patel, D., Jian, L., Xiao, A., Jansz, J., Yun, G., & Robertson, A. (2019). Joint effect of heatwaves and air quality on emergency department attendances for vulnerable population in Perth, Western Australia, 2006 to 2015. *Environmental Research*, 174, 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.013>.
- Petkova, E., Ebi, K., Culp, D., & Redlener, I. (2015). Climate Change and Health on the U.S. Gulf Coast: Public Health Adaptation is Needed to Address Future Risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12, 9342-9356. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809342>.
- Piticar, A. (2018). Changes in heat waves in Chile. *Global and Planetary Change*, 169, 234-246. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.08.007>.
- Porio, E. (2011). Vulnerability, Adaptation, and Resilience to Floods and Climate Change-Related Risks among Marginal, Riverine Communities in Metro Manila. *Asian Journal of Social Science*, 39(4), 425-445. doi:10.1163/156853111x597260.
- Public Administration Review*, 64(1), 55-65. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6210.2004.00346.x>.
- Rahaman, M. A., Rahman, M. M., Bahauddin, K. M., Khan, S., & Hassan, S. (2018). Health Disorder of Climate Migrants in Khulna City: An Urban Slum Perspective. *International Migration*, 56, 42-55. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04273-4>.
- Rahman, M. M., Ahmad, S., Mahmud, A. S., Hassan-uz-Zaman, M., Nahian, M. A., Ahmed, A., Nahar, Q., & Streatfield, P. K. (2019). Health consequences of climate change in Bangladesh: An overview of the evidence, knowledge gaps and challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, e601. doi:10.1002/wcc.601.
- Ramamurthy, P., Gonzalez, J., Ortiz, L., Arend, M., & Moshary, F. (2017). Impact of heatwave on a megacity: An observational analysis of New York City during July 2016. *Environmental Research Letters*, 12(5), 054011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6e59>.
- Ranger, N., Hallegatte, S., Bhattacharya, S., Bachu, M., Priya, S., Dhore, K., ... Corfee-Morlot, J. (2010). An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai. *Climatic Change*, 104(1), 139-167. doi:10.1007/s10584-010-9979-2.
- Reckien, D., Creutzig, F., Fernandez, B., Lwasa, S., Tovar-Res-trepo, M., Mcevoy, D., & Satterthwaite, D. (2017). Climate change, equity and the Sustainable Development Goals: an urban perspective. *Environment and Urbanization*, 29(1), 159-182. <https://doi.org/10.1177/0956247816677778>.
- Reed, M. S. (2008). Stakeholder participation for environmental management: A literature review. *Biological Conservation*, 141(10), 2417-2431. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.07.014>.
- Rekha, V. B., Thomas, A. P., Suma, M., & Vijith, H. (2011). An Integration of Spatial Information Technology for Groundwater Potential and Quality Investigations in Koduvan Ár Sub-Watershed of Meenachil River Basin, Kerala, India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 39(1), 63-71. doi:10.1007/s12524-010-0050-6.
- Royé, D., & Ezpeleta, A. (2015). Análisis de las noches tropicales en la fachada atlántica de la Península Ibérica. Una propuesta metodológica. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 69, 351-368. <https://doi.org/10.21138/bage.1900>.
- Runkle, J., Cui, C., Fuhrmann, C., Stevens, S., Pinal, J., & Sugg, M. (2019). Evaluation of wearable sensors for physiologic monitoring of individually experienced temperatures in outdoor workers in southeastern U.S. *Environment International*, 129, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.026>.
- Samu, R., & Kentel, A. S. (2018). An analysis of the flood management and mitigation measures in Zimbabwe for a sustainable future. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 691-697. doi: 10.1016/j.ijdrr.2018.07.013.
- Scheuer, S., Haase, D., & Meyer, V. (2010). Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and





- ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability. *Natural Hazards*, 58(2), 731–751. doi:10.1007/s11069-010-9666-7.
- Schmeltz, M., Petkova, E., & Gamble, J. (2016). Economic Burden of Hospitalizations for Heat-Related Illnesses in the United States, 2001–2010. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(9), 894. <https://doi.org/10.3390/ijerph13090894>.
- Scovronick, N., Lloyd, S. J., & Kovats, R. S. (2015). Climate and health in informal urban settlements. *Environment and Urbanization*, 27(2), 657–678. doi:10.1177/0956247815596502.
- Shomar, B., & Hawari, J. (2017). Desalinated drinking water in the GCC countries – The need to address consumer perceptions. *Environmental Research*, 158, 203–211. doi: 10.1016/j.envres.2017.06.018.
- Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar) (2014). Chile-Inventario histórico de desastres 1970-2014 [Base de datos]. Recuperado de <https://www.desinventar.org/es/database>.
- Son, J.-Y., Gouveia, N., Bravo, M., Freitas, C., & Bell, M. (2015). The impact of temperature on mortality in a subtropical city: Effects of cold, heat and heat waves in Sao Paulo, Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 60(1) 113–121. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1009-7>.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (2018). Percepción de los usuarios sobre la calidad del servicio de agua potable. Recuperado de: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyvalue-6422.html#percepcion>.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. Agua no contabilizada [Fichero de datos]. Última actualización 7 de junio, 2019. Recuperado de: <https://datos.gob.cl/dataset/cuadro-033-agua-no-contabilizada>.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. Territorios operacionales [shape]. Recuperado de: <http://sit.siss.cl/api/v2/map/13/layer/9/export?format=shapefile>.
- Sušnik, J., Vamvakeridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kaplan, Z. (2012). Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. *Science of The Total Environment*, 440, 290–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.05.085>.
- Tarrass, F., & Benjelloun, M. (2011). The effects of water shortages on health and human development. *Perspectives in Public Health*, 132(5), 240–244. doi:10.1177/1757913910391040.
- Tehrany, M. S., Lee, M.-J., Pradhan, B., Jebur, M. N., & Lee, S. (2014). Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, 72(10), 4001–4015. doi:10.1007/s12665-014-3289-3.
- Terpstra, T. (2011). Emotions, Trust, and Perceived Risk: Affective and Cognitive Routes to Flood Preparedness Behavior. *Risk Analysis*, 31(10), 1658–1675. doi: 10.1111/j.1539-6924.2011.01616.x.
- Urquiza, A., & Billi, M. (2018). Water markets and social-ecological resilience to water stress in the context of climate change: an analysis of the Limarí basin, Chile. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 1929–1951. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0271-3>
- Urquiza, A., Billi, M., Calvo, R., Amigo, C., Navea, J. & Monsalve, T. (2019). ARCLIM – Atlas de Riesgo Climático. Informe de avance – 16 de marzo. Santiago, Chile: CR2.
- Urquiza, C., Amigo, C., Billi, M., Brandão, G., & Morales, B. (2018). “Metálogo Como Herramienta de Colaboración Transdisciplinaria.” *Cinta de Moebio* 62: 182–98. <https://doi.org/10.4067/S0717-554X2018000200182>.
- Van Leeuwen, C.J., Dan, N.P., & Dieperink, C. (2016). The challenges of water governance in Ho Chi Minh City. *Integrated environmental assessment and management* 12(2), 7. doi: 10.1002/ieam.1664.
- Vergara, A. (2015). *Crisis institucional del agua. Descripción del modelo, crítica a la burocracia y propuesta de tribunales especiales*. Santiago, Chile: Ediciones UC.



- Wang, J.-J. (2015). Flood risk maps to cultural heritage: Measures and process. *Journal of Cultural Heritage*, 16(2), 210–220. doi: 10.1016/j.culher.2014.03.002.
- Wang, Y., Rao, Y., Wu, X., Zhao, H., & Chen, J. (2015). A Method for Screening Climate Change-Sensitive Infectious Diseases. *International Journal of Environmental. Research and Public Health*, 12, 767–783. <https://doi.org/10.3390/ijerph120100767>
- Wilby, R. L., & Keenan, R. (2012). Adapting to flood risk under climate change. *Progress in Physical Geography*, 36(3), 348–378. doi:10.1177/0309133312438908.
- Willems, P., Arnbjerg-Nielsen, K., Olsson, J., & Nguyen, V. T. V. (2012). Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings. *Atmospheric Research*, 103, 106–118. doi: 10.1016/j.atmosres.2011.04.003.
- Wu, J., Xiao, J., Li, T., Li, X., Sun, H., Chow, E. P., Lu, Y., Tian, T., Li, X., Wang, Q., Zhuang X., Zhang L., (2015). A cross-sectional survey on the health status and the health-related quality of life of the elderly after flood disaster in Bazhong city, Sichuan, China. *BMC Public Health*, 15(1), 163. doi:10.1186/s12889-015-1402-5.
- Yenneti, K., Tripathi, S., Wei, Y. D., Chen, W., & Joshi, G. (2016). The truly disadvantaged? Assessing social vulnerability to climate change in urban India. *Habitat International*, 56, 124–135. doi: 10.1016/j.habitatint.2016.05.001.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Sefry, S. A. (2016). Flash flood susceptibility assessment in Jeddah city (Kingdom of Saudi Arabia) using bivariate and multivariate statistical models. *Environmental Earth Sciences*, 75(1). doi:10.1007/s12665-015-4830-8.
- Zare, N., & Talebbeydokhti, N. (2018). Policies and governance impact maps of floods on metropolitan Shiraz (the first step toward resilience modeling of the city). *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 28, 298–317. doi: 10.1016/j.ijdrr.2018.03.003.
- Zhang, L., Zhang, Z., Wang, C., Zhou, M., & Yin, P. (2017). Different Mortality Effects of Extreme Temperature Stress in Three Large City Clusters of Northern and Southern China. *International Journal of Disaster Risk Science*, 8,445-456. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0149-2>.

# 7

# ANEXOS

## 7.1 ANEXO 1: INFORME CON RESULTADOS DE METÁLOGOS

El presente anexo se aboca a analizar el riesgo climático sufrido por asentamientos humanos, prestando especial atención al impacto de las **olas de calor, inseguridad hídrica doméstica rural, inseguridad hídrica doméstica urbana, inundaciones e inestabilidad en el suministro energético**. De estas cinco Amenazas, solo las cuatro primeras han sido consideradas en el informe, dado que en su última instancia de validación la variable utilizada *costo de la energía* (para los usuarios), correspondiente a la quinta Amenaza, fue descartada por no depender necesariamente de lo que ocurre al suministro eléctrico. De todos modos, es considerada dentro de este anexo, dada su utilidad para futuros esfuerzos en esta materia.

Estas consultas fueron realizadas en momentos distintos, teniendo lugar las primeras dos (olas de calor e inseguridad hídrica doméstica rural) en el año 2019 y las tres siguientes (inseguridad hídrica doméstica urbana, inundaciones e inestabilidad del suministro energético) el año 2020.

El anexo se estructura en tres grandes partes. **La Parte I** ilustra los resultados de la aplicación de cuestionarios in-

dividuales a integrantes del mundo de la academia, de la sociedad civil y de la política pública sobre los impactos del cambio climático en términos de olas de calor, inseguridad hídrica doméstica rural, inseguridad hídrica doméstica urbana, inundaciones e inestabilidad del suministro eléctrico en la población chilena. Dicha consulta tuvo por objetivo indagar en los factores que incrementan la sensibilidad de la población frente a estas Amenazas, así como aquellos que la reducen mediante estrategias resilientes, de adaptación y/o mitigación (**Tabla 12**).

Amenaza	Expertos
Olas de calor	7
Inseguridad hídrica doméstica rural	8
Inseguridad hídrica doméstica urbana	20
Inundaciones	20
Inestabilidad del suministro eléctrico	25

**Tabla 12.** Número de entrevistados por Amenaza.



Esta sección identifica los principales ámbitos expuestos de acuerdo con los integrantes del mundo de la academia, de la sociedad civil y de la política pública participantes en el estudio (1). A continuación, se señalan sus principales conclusiones en relación con la interacción entre las distintas Amenazas (2). En tercer lugar, se presentan las características que, de acuerdo con los expertos, aumentan la sensibilidad de los asentamientos (3). Cuarto, se enuncian las variables descritas como relevantes en términos de capacidad de respuesta y de adaptación (4). Esta parte del anexo finaliza con una tabla resumen específica para cada Amenaza (5). En el caso de las olas de calor y la inseguridad hídrica doméstica urbana, estas no presentan comentarios de expertos en relación a la interacción entre Amenazas (2), dado que este aspecto no fue considerado en las entrevistas realizadas el año 2019.

La **Parte II** muestra las cadenas de impacto construidas por el equipo a partir de la revisión detallada de literatura. Es importante notar que las cadenas que se muestran acá (salvo las de olas de calor e inseguridad hídrica doméstica rural) corresponden a las presentadas a los expertos en el metálogo y, por tanto, no representan las cadenas finales de impacto ante las Amenazas analizadas.

La **Parte III** sistematiza la retroalimentación otorgada por los expertos a las partes I y II del anexo para las Amenazas de inseguridad hídrica doméstica urbana, inundaciones e inestabilidad del suministro energético.

## A) PARTE I: RESULTADOS CONSULTA A EXPERTOS

---

### A.1) ÁMBITOS EXPUESTOS

#### • **Olas de calor**

En relación con los ámbitos expuestos, los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil subrayan cómo las olas de calor afectan, especialmente, a las personas cuyos trabajos les obliga a realizar actividades laborales en el exterior.

*Las personas trabajadoras que realizan faenas en el exterior [son vulnerables], porque tienen riesgos de sufrir accidentes de trabajo uno de estos días con temperaturas extremadamente calurosas. Las personas que trabajan en la construcción, pero no solo edificios, también en la construcción de infraestructura, como carreteras, vías férreas, etc., las personas que trabajan en el campo. Creo que es un grupo de vulnerabilidad. (Academia).*

*Además, también uno podría decir el tema laboral, si uno trabaja en un espacio, digamos con una poca actividad física, está menos sometido a las condiciones negativas del calor que una persona que está realizando una actividad física. Entonces, también tiene que ver un poco con el tipo de trabajo que tengan y eso se relaciona, en parte, con el nivel socioeconómico también. (Academia).*

#### • **Inseguridad hídrica doméstica rural**

En relación con los ámbitos expuestos, los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil subrayan cómo la inseguridad hídrica doméstica rural afecta, especialmente, a los habitantes de zonas rurales. Las comunidades rurales en general tendrían un bajo acceso a este recurso en comparación con otros actores, lo que agudizaría su sensibilidad frente a los episodios de escasez hídrica. En efecto, estos grupos enfrentan mayores problemas en este escenario por tener un menor grado de acceso a las redes de distribución de agua



de las empresas hídricas y ser, por tanto, más proclives a acceder a fuentes hídricas de menor calidad, como pozos, norias, sequias y sistemas de aprovechamiento de aguas lluvia. En una dirección similar, los representantes de organismos públicos, de la sociedad civil y del mundo académico destacan que los grupos que viven en territorios rurales son especialmente vulnerables frente a la escasez hídrica, pues la distribución del agua se encuentra segmentada: por una parte, el mundo urbano, en que funcionan empresas sanitarias con grandes infraestructuras para extraer, almacenar, depurar y distribuir agua; y, por otra, el mundo rural, en que sistemas pequeños de extracción, almacenamiento, depuración y distribución del agua autogestionados a nivel de la comunidad, como los de Agua Potable Rural, tienen una importancia central.

*Tremenda desigualdad respecto del uso del agua, lo que mencionaba antes. Nosotros, como dirigente rural (yo soy una dirigente rural), nos preocupa muchísimo que hoy día [se esté] sobre explotando los acuíferos en desmedro de las comunidades [...] estamos viendo todo esto verde acá, de mega plantaciones, cuando por acá está la población que no tiene agua y que se está alimentando con camiones aljibe, cincuenta litros por persona, por día. (Sociedad civil).*

#### • Inseguridad hídrica doméstica urbana

En relación con los ámbitos expuestos frente a la inseguridad hídrica doméstica urbana, dos tercios de los académicos, de los tomadores de decisiones y de los integrantes de la sociedad civil subrayan cómo la inseguridad hídrica doméstica urbana afecta los servicios de agua potable. En este sentido, los expertos indican que los episodios de escasez alteran, fundamentalmente, la disponibilidad de agua de calidad en la población.

*El cambio climático también incide en extensos períodos sin precipitaciones, pensando fundamentalmente en las mismas zonas antes mencionadas, situación que puede ser recurrente por varios años, como lo que estamos viviendo actualmente en la zona centro y centro-sur de Chile. Son estas mismas zonas, que antes gozaban de un clima privilegiado, donde mayoritariamente se asienta la población y, como en nuestro país, se desarrolla gran*

*parte de la actividad económica y se concentran las ciudades de mayor tamaño demográfico. Entonces, menos agua, más población y una actividad económica sedienta, como la minería, la agricultura y otras industrias, inciden en incrementar esta escasez, que -además- con la privatización del agua, no permite al Estado realizar una gestión eficaz del líquido elemento. Por cierto, esta escasez impacta fundamentalmente donde se concentra la mayor cantidad de personas, es decir, en las ciudades (Academia).*

*La disminución de lluvias generará déficit en la provisión de agua potable y será crítica para la acumulación de agua en los embalses de generación hidroeléctrica. (Academia).*

A su vez, casi dos tercios de los expertos asignan especial importancia a la energía eléctrica y otras energías como un servicio afectado por la inseguridad hídrica doméstica urbana. En particular, se destaca que, ante la ausencia de precipitaciones, es altamente probable que las fuentes de energía y, en particular, las centrales hidroeléctricas, experimenten problemas para operar normalmente, lo que podría tener repercusiones como cortes de suministro o aumento de la tarifa.

#### • Inundaciones

En relación con los ámbitos expuestos frente a las inundaciones, existe consenso entre académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil respecto del impacto de las inundaciones. Casi dos tercios de los actores que abordan este tema subrayan cómo esta Amenaza afecta con especial intensidad la *energía eléctrica* y *otras energías*. En particular, su argumento es que las centrales hidroeléctricas, al depender de un flujo estable de agua, ven alterada su capacidad de funcionamiento normal como efecto directo de las inundaciones.

*El cambio climático modifica escenarios y altera certidumbres en torno al comportamiento del clima como lo conocemos, así como las condiciones de entorno y disponibilidad de los recursos que son parte de nuestra matriz hídrica y energética actual. Por lo anterior, el cambio climático es unos de los factores que aumentan*



*el riesgo de ocurrencia de inundaciones, en tanto afecta la interacción de los elementos de una cuenca y, en la medida que esta última está estrechamente vinculada a la provisión hídrica y energética urbana, afectará igualmente la seguridad de su abastecimiento (Tomadores de decisiones).*

*Con estos fenómenos meteorológicos y sus efectos, la población se ve expuesta [a] inestabilidad en el suministro de electricidad, problemas en el suministro de agua potable para el consumo humano, producto del aumento de los caudales, material de arrastre que generan estas lluvias torrenciales y en los períodos estivales por la falta de precipitaciones. (Sociedad Civil).*

#### • **Inestabilidad del suministro energético**

En relación con los ámbitos expuestos frente a la Inestabilidad del suministro energético, existe consenso entre académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil respecto del impacto de la Amenaza en la energía eléctrica y otras energías. En particular, casi la totalidad, más de dos tercios de los actores expertos que abordan este tema, indica que el cambio climático altera el funcionamiento normal de las centrales hidroeléctricas, provocando fallas en este servicio.

*Las fuentes energéticas que se afectan por el cambio climático son: a) Hidroelectricidad (disponibilidad más inestable y/o disminuyendo), b) Energía solar (disponibilidad puede aumentar levemente) y c) Biomasa sólida, es decir leña y pellets (disponibilidad puede disminuir debido a sequías, incendios forestales y eventos extremos de precipitaciones). (Sociedad civil).*

*Se considera un aumento de riesgo en el campo del suministro energético eléctrico ante el alza de las temperaturas. Por una parte, un alza de las temperaturas implica que la tasa de instalación de sistemas de climatización y/o refrigeración aumenta y llega a latitudes más bajas, con un consiguiente aumento en el consumo eléctrico. Por otra, la capacidad de intensidad eléctrica máxima de los cables, tanto en las largas líneas de distribución como en la matriz energética urbana, presenta un descenso a medida que aumenta la temperatura. (Sociedad civil).*

## A.2) INTERACCIÓN ENTRE AMENAZAS

#### • **Inseguridad hídrica doméstica urbana**

Casi la totalidad de los expertos consensuan en que existe una relación de complementariedad entre las distintas Amenazas en la interacción de la inseguridad hídrica doméstica urbana con las inundaciones y la inestabilidad del suministro energético. De acuerdo con su análisis, existe una sinergia entre los riesgos en términos de inestabilidad del suministro energético y los problemas creados por inseguridad hídrica doméstica urbana e inundaciones.

*Las tres mencionadas [Amenazas] están estrechamente relacionadas. La inestabilidad en el clima, producto del calentamiento global, genera situaciones de mayor intensidad, como la escasez hídrica o sequías e inundaciones. Al mismo tiempo, repercute en el suministro de energía, que depende de los niveles de acumulación de agua en las centrales hidroeléctricas, además, en el caso de los combustibles fósiles, o generación termoeléctrica frente a solar u otras, tienen comportamiento de sustitutos, vale decir, el suministro depende de sus precios relativos en el largo plazo. (Tomadores de decisiones).*

*La falta de agua, el exceso de agua, la mayor o menor temperatura incrementan los riesgos de la población. Avalanchas, como las del norte, la desertificación de la zona central de Chile, la posible falta de agua potable, el encarecimiento de los distintos tipos de energía ya sea para enfriar o calentar al humano, falta de agua, alimentos más caros o escasos, inundaciones afectan nuestro ecosistema y, si no nos preparamos para enfrentar estos cambios será desastroso para mucha gente. (Sociedad civil).*

#### • **Inundaciones**

En lo que respecta a la interacción de las inundaciones con la seguridad hídrica urbana e inestabilidad del suministro energético, más de dos tercios de los expertos consensuan en que existe una relación de complementariedad entre las distintas Amenazas. De acuerdo con su análisis, existe una sinergia entre los riesgos provocados por las inundaciones y otras Amenazas, exacerbada por la insuficiente capacidad de respuesta a nivel de las instituciones.



*La interacción entre Amenazas incrementa los riesgos a los que se ve expuesta la población, en tanto actúan en forma aditiva y/o sinérgica, potenciando la ocurrencia de episodios asociados a emergencias/catástrofes climáticas por un lado, así como también constituyen o exacerban presiones sociales, económicas y medioambientales, que afectan la seguridad de la población en diversos ámbitos (seguridad alimentaria, hídrica, provisión de recursos y servicios básicos, salud, infraestructura, entre otros). (Tomadores de decisiones).*

*Se incrementan los riesgos, ya que, con estos fenómenos meteorológicos y sus efectos, la población se ve expuesta a inestabilidad en el suministro de electricidad, problemas en el suministro de agua potable para el consumo humano, producto del aumento de los caudales, material de arrastre que generan estas lluvias torrenciales y, en los períodos estivales, por la falta de precipitaciones. (Sociedad civil).*

#### • Inestabilidad de suministro eléctrico

En cuanto a las características que aumentan la Sensibilidad de la población ante la inestabilidad del suministro energético, existen diferencias entre expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil. En primer lugar, casi dos tercios de los actores mencionan las condiciones socioeconómicas y, en particular, la pertenencia a un estrato socioeconómico bajo, como un factor que incrementa los efectos negativos de problemas en la continuidad del suministro energético. De acuerdo con su análisis, estos grupos son más vulnerables, pues sus hogares son, a menudo, menos seguros ante fallas en el suministro, siendo -además- su economía familiar afectada más severamente.

*De hecho, pienso que lo que hacen estas Amenazas es aumentar la Vulnerabilidad de la población y el territorio en el cual habitan y, en consecuencia, dejarla más indefensa frente a nuevas Amenazas. Es como un bucle de retroalimentación positivo, donde las personas y su hábitat se alejan cada vez más de un estado de equilibrio que les permite un buen vivir. Por ejemplo, si ocurre una inundación en la noche y la comunidad afectada no tiene suministro energético en ese momento, será más difícil*

*para la gente ubicarse en un lugar seguro y, posteriormente, lograr que sus pertenencias se sequen. En consecuencia, las pérdidas serán mayores y la posibilidad de recuperarse será más difícil. Estas personas serán, entonces, un poco más vulnerables que antes. Si luego viene una sequía y el agua hay que comprarla a precios más altos, esta misma población tendrá menos posibilidad de hacerlo y quizás se enferme. Entonces, para la siguiente inundación estas personas estarán más débiles y tal vez haya pérdidas humanas. (Academia).*

*La escasez hídrica, junto a eventos de interrupción de suministro de energía, puede llevar a una disminución en la calidad de salubridad en la población. (Sociedad civil).*

### A.3) SENSIBILIDAD

#### • Olas de calor

En lo que respecta a las características que aumentan la Sensibilidad de la población ante las olas de calor, existe consenso entre casi todos los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil en la centralidad de las condiciones socioeconómicas y, en particular, la pertenencia a un estrato socioeconómico bajo, como un factor que incrementa los efectos negativos de las olas de calor. El estrato socioeconómico es descrito por los participantes del metálogo y entrevistas como un factor que afecta directamente la Vulnerabilidad de la población ante las olas de calor. Para los expertos, esta variable juega un rol articulador con otras, en tanto agudizaría el efecto de variables como género, infraestructura de la vivienda, acceso a tecnologías (ej. aire acondicionado) y presencia de áreas verdes. En un sentido similar, esta variable es descrita como un factor importante en lo que respecta a la capacidad de respuesta y adaptación de la población ante la Amenaza, especialmente, por sus efectos directo e indirecto en el acceso a tecnologías y áreas verdes.

*La escasez de recursos económicos está relacionada totalmente con la Vulnerabilidad frente a este tipo de impactos. También las malas condiciones de la edificación*



*que están asociadas a los bajos recursos económicos, está potenciando que haya mayores temperaturas y que haya problemas de salud. (Academia).*

*El estrato socioeconómico claramente influye, o sea, por ejemplo, la gente de estratos medio y altos, y ahora uno lo ve más en la ciudad, está buscando soluciones, digamos tecnológicas, al problema del calor como son el aire acondicionado. En cambio, la población más pobre está sometida a esas situaciones y no tiene el acceso a ciertos equipamientos y herramientas que atenúan el calor en la vivienda. (Academia).*

También la edad es considerada un factor relevante por integrantes de la academia, de sociedad civil y del ámbito de la política pública. La edad aumenta directamente la Vulnerabilidad de la población, según los entrevistados y participantes del metálogo, sin la necesidad de estar mediada por otras variables, en tanto los extremos etarios (niñas/os menores de cinco años y personas mayores de sesenta y cinco años) serían especialmente sensibles por sus características fisiológicas. Así, se argumenta que la distribución de personas mayores es un elemento clave para analizar la Vulnerabilidad de la población. En lo que respecta a la población de menores de cinco años, se indica que su relación con la segregación socioespacial del territorio sería más clara, en tanto las periferias de las ciudades tenderían a concentrar un número mayor de niños y niñas frente a otros territorios más urbanizados.

*Entre los impactos directos [las olas de calor] estarían afectando a la población más extrema en términos etarios, los más niños o los más ancianos, porque claro, no toleran tantas temperaturas extremas. Incluso los niños es uno el que los abriga, uno el que se encarga de su vestimenta y los ancianos también tienen temas de movilidad, que impiden que incluso se adecuen al frío y al calor. En cambio, la gente adulta tiene herramientas como para solventar estos problemas de calor extremo. Los grupos más vulnerables serían esos y, claro, desde el punto de vista de salud, en temperaturas muy extremas podrían causar golpes de calor y con eso llevarte a la muerte. (Academia).*

*En el caso de los adultos mayores también ellos pierden la capacidad de regular la temperatura, por ende, son mucho más sensibles las comorbilidades del adulto mayor, hipertensión, diabetes, que también contribuyen a que sean aún más susceptibles de enfermar o morir por cambios extremos en la temperatura. Entonces, cae de cajón determinar a nivel comunal si estamos frente a una población que tiene una proporción mayor de adultos mayores o de lactantes. (Academia).*

La densidad de las ciudades y su arquitectura también es mencionada como una variable relevante. Este factor incrementa la Vulnerabilidad de manera directa: a mayor densidad, más acentuados son los efectos de las islas de calor en las urbes. Sin embargo, los entrevistados y participantes del metálogo precisan también que es necesario distinguir sobre el tipo de densidad del que se está tratando, en tanto no siempre tiene efectos negativos. Por una parte, estos argumentan que existe una densificación positiva, como la ciudad compacta europea y, por otra, una densificación negativa, como la que presenta Santiago, donde la altura de los edificios no permite la ventilación de las áreas más bajas. En este sentido, esta variable impactaría en la Vulnerabilidad de la población ante las olas de calor siempre en relación con la infraestructura urbana, en tanto el tipo de edificación determina el tipo de densificación y la capacidad del entorno urbano de reducir los efectos negativos de las olas de calor.

*Hay que buscar densificar las ciudades, hay que buscar que las ciudades sean más densas, porque son más eficientes, generan menos calor metabólico. (Academia).*

*El tema de la densidad, que es súper interesante, porque se ha discutido harto en planificación urbana, yo creo que en Chile en general tenemos un mal entendimiento de densidad y no densidad. Se tiende a construir de un piso, dos pisos o las torres, aquí tipo Santiago centro, de 30 pisos; entonces, entendemos por densidad los 30 pisos y no la ciudad compacta que es el modelo europeo; ahí lo que importa en términos de isla urbana de calor es la proporción de cañón urbano, sobre todo para la ventilación, y eso tiene que ver con ancho y alto. La ciudad compacta típica europea tiene una proporción súper adecuada en términos de ventilación. El problema*



*de la densificación de 30 pisos es que las áreas más bajas no se pueden ventilar, entonces se concentran contaminantes y, además, hace que el calor no se disipa en el fondo; entonces, esa densidad intermedia es súper adecuada... [Académico].*

#### • Inseguridad hídrica doméstica urbana

Entre las características que aumentan la Sensibilidad de la población, existe consenso en casi todos los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil respecto de la centralidad de la edad como un factor que incrementa los efectos negativos de la inseguridad hídrica doméstica rural. En particular, la pertenencia a la población infantil es descrita por los participantes del metálogo y entrevistas como un elemento que afecta directamente la vulnerabilidad de la población ante la escasez hídrica rural, principalmente, frente a enfermedades relacionadas con una mala calidad del agua dentro de zonas no urbanas.

*Considero que es super relevante considerar variables como la edad, bueno, porque, por una parte, la edad está muy vinculada al metabolismo hídrico de las personas y también al metabolismo de la temperatura. Cuando tú eres más niño, tu hipotálamo no está totalmente desarrollado, eres más sensible a la temperaturas frías y calientes, no puedes mantener confort térmico y también eres muy sensible a la deshidratación y a las condiciones de agua segura. Un adulto inmuno competente consume cierta cantidad de colí en agua y podría tener una diarrea leve; un infante, un lactante que lo hace, podría morir con la misma cantidad de microorganismos. [Academia].*

#### • Inseguridad hídrica doméstica urbana

En cuanto a las características que aumentan la Sensibilidad de la población frente a la inseguridad hídrica doméstica urbana, existe consenso entre casi todos los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil en la centralidad de las condiciones socioeconómicas y, en particular, la pertenencia a un estrato socioeconómico bajo, como un factor que incrementa los efectos negativos de esta Amenaza. De acuerdo con su análisis, esto se explicaría en que estos grupos poseen

otras prioridades de gastos que les impide ocupar sus reducidos recursos para acceder a fuentes de suministro de agua alternativas de calidad; carecen de los medios para adquirir elementos que limiten sus efectos en la salud u otras alternativas, como agua embotellada o purificada.

*Los grupos más vulnerables son los grupos socioeconómicos más bajos, asociados a comunas o territorios más segregados, con desigualdad en condiciones y oportunidades. [Sociedad Civil].*

*La pobreza económica y material es muy importante ante este tipo de Amenazas, porque cuando hay bienes escasos, como el agua o la energía, en un sistema político-económico como el nuestro, donde tales bienes no son garantizados, quienes menos posibilidad de acceso tienen a los mismos son las personas que no tienen suficientes recursos económicos. Por otra parte, estas personas suelen no tener condiciones materiales adecuadas. [Academia].*

#### • Inundaciones

Para las características que aumentan la sensibilidad de la población frente a inundaciones, existen diferencias entre expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil. En primer lugar, dos tercios de los actores relevan a las condiciones socioeconómicas y, en particular, la pertenencia a un estrato socioeconómico bajo, como un factor que incrementa la sensibilidad a la Amenaza. De acuerdo con su análisis, estos grupos son más vulnerables, pues carecen de los medios necesarios para poder enfrentar los efectos de las inundaciones.

*Sin duda, los grupos más vulnerables son aquellos de menos recursos económicos, que no cuentan con infraestructura o elementos de apoyo complementarios, más allá de lo que las autoridades públicas o políticas puedan otorgar para dar soluciones puntuales a los problemas que les afecten producto de un evento en particular. No se evidencian mejoras a largo plazo que, por ejemplo, aseguren el acceso al agua potable a los usuarios, más allá de algunas obras que permiten extender por unas horas la provisión del servicio cuando*



*no pueda producirse agua. De la misma forma con las inundaciones: la gente de menores recursos, generalmente, construye en zonas de mayor riesgo, sin soluciones de largo plazo para reubicarlos con programas completos que incluyan asesoría social. (Tomadores de decisiones).*

*El grupo más vulnerable es la población más pobre, debido a que no cuenta con la información en torno a lo que significa el cambio climático, lo que impide que esta pueda prepararse para enfrentarlo, como también no cuentan con los recursos para poder reponer las pérdidas que tengan. (Sociedad civil).*

A continuación, casi dos tercios de los expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil asignan especial importancia al emplazamiento en espacios geográficos vulnerables. En particular, se destaca que los habitantes de estas zonas se ven más directamente afectados ante episodios de inundación, debido a que su ubicación agrava los impactos negativos de esta Amenaza.

*Por otra parte, estas personas [en sectores vulnerables] suelen no tener condiciones materiales adecuadas, como una vivienda que pueda hacer frente a inundaciones, a la vez que suelen localizarse en zonas de riesgo (zonas inundables, laderas de cerros o piedemontes, donde además está el riesgo de derrumbes, etc.), donde muchas veces tampoco existen obras de mitigación para tales riesgos o no son adecuadas, considerando la violencia de estos fenómenos ante el cambio climático (cambia el clima, pero no las normas de construcción y de obras de mitigación). (Academia).*

*[Los más afectados son] aquellos cuyas viviendas se encuentran emplazadas en zonas de riesgo, como aquellos conjuntos habitacionales desarrollados en los bordes o cercanías de las quebradas. Se debe tener en cuenta que el Plan Regulador Metropolitano de Santiago entrega información de las quebradas existentes en la ciudad de Santiago y los límites en donde comienza la línea de construcción en el borde de la quebrada, pero no en todas las ciudades, pueblos o poblaciones de Chile cuentan con un catastro de las quebradas; existen muchas*

*ciudades o pueblos construidos en una quebrada, como también a los pies de los embalses. (Sociedad Civil).*

Finalmente, casi un tercio de los expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil indican que la población rural se ve especialmente afectada ante eventos de inundaciones. La argumentación de estos actores radica en que los habitantes de sectores rurales, debido a su economía y cultura de subsistencia, enfrentan un mayor impacto en el caso de inundaciones. Esto incluye a personas que no necesariamente habitan el espacio rural, pero que dependen de las actividades que allí se desarrollan.

*Siempre las personas de menores ingresos son las más afectadas y hay que agregar el grupo de personas que, no siendo de menores ingresos, habitan y dependen de las zonas rurales. Para enfrentar estos cambios se requiere de recursos y, si las personas no los tienen, se le hace más difícil enfrentarlos. Los lugares donde habitan son más o menos peligrosos [por su] dependencia del agua de riego, alimentación más cara. A esto hay que agregar la poca visión e interés de largo plazo de las autoridades, que esperan que pasen sus cuatro años y no planifican más allá. (Sociedad civil).*

*Indudablemente, los más pobres, en zonas rurales o que viven en asentamientos expuestos a inundaciones [son más afectados], dada su ubicación geográfica. Son ellos los más expuestos y con menos capacidades de adaptación. (Tomadores de decisiones).*

#### • **Inestabilidad de suministro energético**

También existen diferencias entre expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil en lo que respecta a las características que aumentan la Sensibilidad de la población ante a inestabilidad de suministro energético. En primer lugar, casi dos tercios de los actores mencionan las condiciones socioeconómicas y, en particular, la pertenencia a un estrato socioeconómico bajo, como un factor que incrementa los efectos negativos de problemas en la continuidad del suministro energético. De acuerdo con su análisis, estos grupos son más vulnerables, pues sus hogares son -a menudo- menos seguros ante fallas en el suministro, siendo -además- su economía familiar afectada más severamente.

*Los estratos socioeconómicos bajos son más vulnerables a las Amenazas mencionadas de agua y energía. Especialmente, aquellos grupos que en la actualidad ya tienen problemas de acceso a agua potable y/o a energéticos, sea por la ubicación, por simple economía o por otras razones. El cambio climático está aumentando las desigualdades entre los países ricos y los pobres. En nuestro país, aumentarán las desigualdades entre las comunas ricas y las pobres, así como entre las personas ricas y las personas pobres. (Sociedad civil).*

*En general, se asocia la Vulnerabilidad al grado de independencia que tiene el afectado o grupo de afectados para recuperar la condición previa a ocurrida la afectación. En esa lógica, los grupos más afectados siempre son aquella población que tiene menos recursos económicos o mayor dependencia de apoyo por parte del Estado. (Tomadores de decisiones).*

A continuación, casi la mitad de los expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil asignan especial importancia a la ruralidad de las personas afectadas. En particular, se destaca que los habitantes de estas zonas se ven más directamente afectadas ante problemas en el suministro energético por estar alejados a las fuentes alternativas de energía.

*La gente que se encuentra en situación de pobreza energética ya parte de una situación vulnerable que, con la escasez de energía y agua, solo puede aumentar aún más, hasta alcanzar niveles dramáticos. Una parte importante de la población en situación de pobreza energética es, además, gente de escasos recursos económicos, que no podrá tomar las medidas necesarias para remediar enfermedades o situaciones críticas producto de la escasez hídrica y energética. (Sociedad civil).*

*[Especialmente afectada es la] población rural en extrema pobreza, tercera edad o de movilidad reducida. Sus precarios o nulos ingresos determinan que sus condiciones de habitación sean inseguras por su mala calidad, y las condiciones de vida rural se agravan para enfrentar las Amenazas señaladas. (Academia).*

Finalmente, casi un tercio de los expertos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil indican que la edad es un indicador de Sensibilidad ante problemas en el suministro energético. La argumentación de estos actores es que la edad aumenta directamente la Vulnerabilidad de la población, en tanto los extremos etarios (niñas/os y adultos mayores) serían especialmente sensibles por sus características fisiológicas y consecuente mayor dependencia de la energía.

*Población envejecida: este colectivo requiere de condiciones de habitabilidad especiales, tales como una temperatura mínima de confort, higiene personal, equipamiento en la vivienda. Además, este colectivo pasa la mayor parte del día en la vivienda, por lo que sus necesidades energéticas son mayores. (Academia).*

*A lo anterior, hay que agregar que hay personas que tienen necesidades especiales (enfermos conectados a una máquina que requiere suministro continuo de energía), personas con dificultades de desplazamiento (no pueden arrancar o protegerse) [y] niños y ancianos que no pueden dimensionar el riesgo ante el cual se encuentran y no saben cómo protegerse frente al mismo, entre otros. (Academia).*

## A.4) CAPACIDAD DE RESPUESTA Y ADAPTACIÓN

### • Olas de calor

En lo que respecta a la Capacidad de respuesta frente a las olas de calor, los expertos indican que las políticas públicas de los territorios son fundamentales. En base a la opinión de los entrevistados y participantes del metálogo respecto de la infraestructura de la vivienda, se destaca que los elementos de aislación, así como la forma en que están contruidos los muros, y otros elementos de la vivienda son normados y determinan su capacidad de enfrentar las consecuencias de las olas de calor. En este sentido, mencionan —con el objetivo de incrementar las capacidades de respuesta y adaptación de las comunas ante esta Amenaza— que es imperativo establecer en la



normativa los estándares necesarios para poder entregar a las viviendas las condiciones óptimas, tanto para el frío como para el calor.

*Nuestra normativa no aborda la inercia térmica de los materiales del envolvente. Sólo exige un comportamiento, que es transmitancia térmica: cantidad de energía que puede fluir por ahí en un metro cuadrado por un grado de diferencia de temperatura. Y en eso yo lo puedo cumplir como quiera, entonces [...], ¿Cómo se ha cubierto esa necesidad? Con aislación térmica. Y eso en invierno funciona súper bien, porque yo tengo que impedir que salga calor. Pero cuando el calor viene de afuera, ese aislante, tarde o temprano, se calienta y deja entrar la energía, o bien, entra energía por las ventanas y ese calor no sale. (Tomadores de decisión).*

*Hay problemas con la constructibilidad de las viviendas; creo que todavía hay mucho por hacer para justamente estar preparado para condiciones más extremas. Por ejemplo, a mí me tocó ver en Italia, pero ahora en Chile también se está haciendo, que hay normativa energética en las viviendas. Entonces, claro, una vivienda que tiene mejores muros, mejores ventanas, puerta incluso, y ciertas aislaciones, consume menos energía y esas viviendas son de mayor estándar que las viviendas que se construyen en ciertas zonas de Santiago, donde el vidrio es el mínimo normado, los anchos de paredes son los mínimos normados, etc. (Academia).*

A su vez, las respuestas de una mayoría de los expertos sobre la capacidad de adaptación ante las olas de calor apuntan a la importancia de la infraestructura. En este sentido, existe un amplio consenso entre los entrevistados y participantes del metálogo que las áreas verdes y la cobertura vegetal de los territorios son factores centrales para la capacidad de respuesta y adaptación frente a las olas de calor. Sin embargo, precisan también que es necesario tener presente cuáles son las características que deben tener dichas áreas verdes para cumplir este rol, por ejemplo, el porcentaje específico de biomasa que debiesen poseer. Del mismo modo, se sostiene entre los participantes que se debe considerar los posibles perjuicios de la creación de dicha infraestructura en términos

de gastos de mantención de áreas verdes, lo que pone en tela de juicio el hecho de sugerir su implementación como medida de respuesta y adaptación válida en todo contexto.

*Introducir más desde el punto de vista de la naturaleza a la ciudad, aumentando los espacios permeables con esa presencia de vegetación y que esos espacios permeables capturen o mantengan por mayor tiempo el agua, porque la evapotranspiración en la ciudad es un mecanismo muy importante para mantener la temperatura. (Academia).*

*La vegetación tiene varios roles o servicios ambientales, entre los que destacan, por ejemplo, la entrega de humedad a la atmósfera; eso permite que el aire se enfríe, porque claro, hay un gasto por calor sensible, que sería la propia temperatura, y el gasto por el cambio de estado del vapor de agua, que eso hace que la temperatura baje, digamos. (Academia).*

#### • Inseguridad hídrica doméstica rural

Los expertos indican que el conocimiento sobre los territorios es fundamental en lo que respecta a la Capacidad de respuesta ante la inseguridad hídrica doméstica rural. Dentro de las entrevistas y metálogo, se sugiere que el conocimiento y, en especial, la educación, determina la capacidad de respuesta y adaptación que las comunidades rurales pueden poseer ante períodos de escasez hídrica. En particular, se sostiene que la falta de una formación adecuada impediría que estas comunidades puedan establecer redes de comunicaciones con las autoridades para arribar a soluciones. De manera similar, los participantes coinciden en subrayar que la capacitación de las personas de parte de organismos públicos y privados en relación con el manejo eficiente del agua (educación sanitaria) es fundamental para elevar su capacidad de respuesta y adaptación frente a escenarios futuros de escasez hídrica.

*El nivel educacional, sin duda, afecta para poder encontrar soluciones ante la escasez. Un sector rural aún, pero de parcelas de grado, de gente que se compró sus viviendas y son profesionales con estudios diferentes, quizás enfrentados a una situación de escasez generan redes que les permiten llegar a los altos mandos o jerarquías municipales para encontrar soluciones reales.*



*Sin embargo, personas con menores estudios o menos redes van a verse en una situación de mayor desamparo... (Tomadores de decisión).*

*La educación sanitaria se basa en el concepto de que, si tú tienes personas bien informadas van a tomar buenas decisiones, y eso se hace con buena comunicación de riesgo, eso es, sin alarmar a la gente, entregarle información para que tome buenas decisiones, que da muy buenos resultados. (Tomadores de decisión).*

A su vez, las respuestas de una mayoría de los expertos sobre la capacidad de adaptación ante la inseguridad hídrica doméstica apuntan a la importancia de las políticas públicas. De acuerdo con los entrevistados y participantes del metálogo, si existe un número reducido de Programas de Agua Potable Rural con derechos de agua es probable que haya una mayor sensibilidad de la población ante episodios de escasez hídrica. En efecto, en lo que respecta al agua en Chile, rige un sistema de derechos de agua transables, que no necesariamente se encuentra conectado con la propiedad de la tierra (Vergara, 2015; Urquiza & Billi, 2018; CR2, 2015). En este contexto, los habitantes rurales ven restringida su capacidad de extracción de agua de los sistemas de Agua Potable Rural, a los cuales tienen acceso en función de la cantidad de derechos que tienen, dado que cada derecho da acceso exclusivamente a una proporción del agua disponible. Este factor sería particularmente relevante, de acuerdo con la opinión de los participantes, pues de ello depende si las comunidades poseen permisos legales para hacer uso de recursos hídricos. En este sentido, poseer derechos de agua les entregaría mayores capacidades de respuesta y adaptación a los distintos grupos frente a escenarios donde existe una mayor competencia por el uso del agua y, por tanto, les permitiría enfrentar escenarios de escasez hídrica rural.

*En cuanto a la escasez, un tema clave es la facultad legal para hacer uso y goce del agua, que son los derechos de agua, y eso también es un tema que se está avanzando; se están haciendo estudios a nivel de cuencas, la dirección general de aguas con la DOH, e identificando a nivel, en este caso, de Comité de Agua Potable Rural, la cantidad de derechos de agua que tienen, un poco pro-*

*yectando sus demandas, cosas de este tipo, pero, en la práctica, que la facultad legal de extraer agua está dada por los derechos de agua es un tema que afecta a la Vulnerabilidad entre los actores respecto a la provisión de agua para consumo humano. (Tomadores de decisión).*

#### • Inseguridad hídrica doméstica urbana

En lo que respecta a la Capacidad de respuesta ante la inseguridad hídrica doméstica urbana, casi un tercio de los expertos indica que la infraestructura del territorio es fundamental. Según su análisis, a mayor infraestructura de calidad disponible, mejor es la gestión y distribución, tratamiento y almacenamiento de agua, permitiendo respuestas rápidas ante riesgos derivados de episodios de inseguridad hídrica doméstica urbana.

*[En relación con las] sequías: Infraestructura y diseño urbanos, que contemple drenajes urbanos sustentables, y sistemas de riego y reutilización de recursos hídricos eficientes (aguas lluvia, aguas grises). (Academia).*

*La infraestructura disponible en estos asentamientos, tanto sanitaria como energética, y cuán vulnerables son frente eventos de lluvias torrenciales, sequías y cortes de energía. Las Amenazas pueden ser corte del suministro de agua potable, debido al aumento de material en suspensión en las fuentes de abastecimiento. Agotamiento de las fuentes de agua, subterráneas o superficiales para el riego y consumo animal y humano. (Sociedad civil).*

Las respuestas de más de dos tercios de los expertos sobre la Capacidad de adaptación ante la inseguridad hídrica doméstica urbana apuntan a la importancia del conocimiento disponible. Un elemento clave en este sentido, de acuerdo con académicos, integrantes de la sociedad civil y tomadores de decisión es el conocimiento de la disponibilidad de agua en los territorios, así como su demanda, para planificar acciones ante escenarios de inseguridad hídrica doméstica que atiendan a los requisitos de los usuarios y las interrelaciones o competencias que puedan existir entre ellos.

*En cuanto a escasez hídrica, existen distintos mapeos globales que predicen las zonas donde, en las próxi-*



*mas décadas, podría existir mayor riesgo de sequía. Es importante considerar el punto de suministro de agua fresca que tiene esa localidad, como éste se podría ver reducido en base a distintos escenarios de cambio climático futuro y, finalmente, la demanda hídrica que tiene ese lugar. (Sociedad Civil).*

*Frente a la Amenaza de escasez hídrica (...) se debe considerar el acceso que tienen a estos servicios durante el año, el costo de estos servicios y el porcentaje que representan en comparación a los ingresos familiares. También se deberá evaluar el entorno para definir si existen otras actividades económicas a los que las personas podrían dedicarse, o si bien se puede fortalecer/adaptar aquellas actividades que ya desarrollan (p.ej. en la agricultura pueden mejorarse los sistemas de riego, cambiar cultivos). (Sociedad Civil)*

A su vez, casi un tercio de los expertos subrayan la importancia de que los territorios posean sistemas tecnológicos y de innovación, en la medida que, según su análisis, esto permite diversificar las fuentes de agua y los tratamientos para potabilizarla, pudiendo así superar episodios de escasez.

*Disponibilidad de agua potable a nivel local y regional, considerando (en la debida medida) tecnologías emergentes, como: \*Desalinización de agua del mar utilizando energías renovables (sol, viento). \*Captación de precipitaciones aprovechables (es decir, cantidades mínimas estables). (Sociedad Civil).*

*También se puede ser más eficiente con el uso del agua, primero a nivel industrial y luego, de las pymes y la gente. Para ciertos usos, por ejemplo, se pueden considerar aguas grises y realizar usos controlados del agua (baño y otros), aunque, como se dijo, los esfuerzos más importantes deben venir de la industria. Eventualmente, también se puede considerar agua de mar, siempre que se tomen los resguardos ecológicos necesarios para no afectar la flora y fauna marinas. (Academia).*

Finalmente, un tercio de los expertos enfatizan la centralidad de las políticas públicas y, en particular, la gobernanza

hídrica, en términos de capacidad de respuesta ante escenarios de escasez. Si existe una gobernanza hídrica adecuada, argumentan los participantes del estudio, se hace más fácil implementar planes integrales de adaptación ante la Amenaza de sequía, incluso en los casos en que no existen todas las condiciones socio materiales requeridas para este fin.

*En la escasez hídrica (Amenaza), factor importante es la gobernanza hídrica en el territorio, donde influye el aislamiento y dispersión geográfica; también, las leyes que regulan el acceso al agua (código de aguas) y ley de fomento al riego, a pesar de que no existe disponibilidad de agua, se siguen financiando pozos profundos y acumuladores de agua. (Tomadores de decisiones).*

*Deberían evaluarse los instrumentos normativos/reguladores que rijan en la materia, la forma en que esos instrumentos son aplicados a nivel del territorio o localidad de que se trate. (Academia).*

#### • Inundaciones

Uno de los puntos identificados como relevantes en las respuestas de los diferentes expertos, con un poco más de un tercio de las menciones, en relación con la Capacidad de respuesta frente a inundaciones, es la infraestructura. En este sentido, los expertos indican que la calidad de la infraestructura (colectores de aguas lluvias, embalses, alcantarillados, sumideros, etc.) es un elemento fundamental para que los territorios puedan reaccionar rápidamente frente a los riesgos de inundaciones. De acuerdo con su análisis, la infraestructura determina la calidad de la respuesta a la Amenaza.

*Sin duda, la infraestructura en materia de inundaciones es central, no tan solo para contener, sino que también dónde no construir, para que el cauce pueda soportar una crecida sin producir efectos en población. (Tomadores de decisiones).*

*[se debe tener en cuenta] la nula visión a mediano plazo de las personas y las autoridades frente a esta problemática, poca inversión que lleve a solucionar estos problemas, falta de embalses, falta de zonas de liberación*



*de energía y contención frente a una inundación, sistema evacuación de aguas lluvias, nula coordinación y control. (Sociedad civil).*

A su vez, casi dos tercios de los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil coinciden en subrayar la importancia del conocimiento del territorio en lo que respecta a la capacidad de adaptación. En este sentido, los expertos argumentan que el conocimiento de los lugares de mayores riesgos y la identificación de los espacios susceptibles de inundaciones permiten responder a las inundaciones de mejor manera, tanto a mediano como a largo plazo.

*En cuanto a inundaciones, las zonas pobladas debiesen ser evaluadas en base a su cercanía al océano u otros cuerpos de agua de tamaño considerable, como ríos y lagos, que puedan desbordarse ante un evento de precipitación mayor al histórico máximo. Altura de la cota cero en base al nivel del mar y condiciones topográficas son otros factores para considerar. (Sociedad civil).*

*Se debe tener un análisis de todas las quebradas existentes y su directa relación con la existencia de hielos en las altas cumbres; el comportamiento de las aguas, barros, rocas, entre otros elementos, en su bajada por las quebradas, la velocidad de este caudal de agua sucia, la pendiente de las quebradas. Un análisis de la tasa de deshielo y el volumen existente en las alturas de la cordillera. (Tomadores de decisiones).*

En el mismo sentido, existe un número importante de expertos, un tercio del total, que destacan la importancia de las políticas públicas para mejorar la planificación del crecimiento y del ordenamiento territorial de los asentamientos, de modo que resulte en una mejor respuesta y adaptación frente a las inundaciones. De acuerdo con su análisis, la implementación de normativas para mejorar la construcción es necesaria para planificar a mediano y largo plazo.

*Ante riesgos de inundaciones o avalanchas, deben adoptarse estrictas normas de construcciones en borde costero y áreas de montañas. (Academia).*

*Se debe considerar la capacidad de carga de las cuencas para poder ver cómo se realiza un ordenamiento territorial en las mismas, qué actividades no se pueden seguir realizando y qué medidas de adaptación, mitigación y resiliencia se pueden implementar. (Sociedad civil).*

Igual importancia recibe entre los expertos la dimensión de coordinación horizontal de los territorios, entendida como la capacidad de incorporar a distintos actores en el proceso de decisión para las respuestas ante la Amenaza. Académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil indican que la coordinación a nivel horizontal entre los distintos grupos de un territorio es una variable central para responder ante los riesgos producidos por inundaciones.

*Las formas de organización social que existan a nivel local; la articulación de los actores (públicos y privados) del territorio o localidad de que se trate; los recursos económicos/financieros de que dispone esa localidad o territorio para los fines de enfrentamiento o adaptación a las Amenazas mencionadas; las capacidades y nivel de operatividad y proactividad de las instituciones que deben dirigir o coordinar la respuesta o adaptación a dichas Amenazas; el nivel y calidad de información existente y disponible para todos los actores; el grado de confianza existente entre ellos, entre otros. (Academia).*

*[Para enfrentar las Amenazas son necesarios] buenos instrumentos de planificación territorial, normativos, pero participativos (la población los debe hacer propios) y que se puedan fiscalizar, incluso por las mismas personas que habitan el lugar. También, ya se mencionó antes la capacidad de las comunidades para organizarse antes, durante y después de ocurrida la emergencia. Para ello, es necesario que los municipios se involucren, organicen y capaciten. (Academia).*

#### • Inestabilidad del suministro energético

En lo que respecta a la capacidad de respuesta, casi la mitad de los académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil coinciden en que la calidad de la infraestructura desempeña un rol central



para enfrentar problemas derivados de la inestabilidad del suministro energético. En este sentido, los expertos sugieren que es esencial que los territorios tengan acceso a variadas fuentes de energía que, al ser más sustentables, puedan disminuir los impactos negativos asociados con el cambio climático. De manera similar, menos de un tercio de los expertos sugiere que la infraestructura y, en particular, el tipo de conexión eléctrica de los hogares determina qué tan graves son los impactos de la inestabilidad en el suministro energético en las actividades de la población.

*Este uso eficiente se debe realizar considerando cada vez más fuentes alternativas, para evitar la utilización de energías que generen gases de efecto invernadero. En tal sentido, puede resultar interesante la generación distribuida, lo cual debiera ser evaluado caso a caso (condiciones del lugar para distintas fuentes energéticas, posibilidad de utilización de excedentes por otros usuarios, etc.). (Academia).*

*En el caso de suministro eléctrico, hay que dimensionar las variables en los sectores generación, transmisión y distribución. En el caso de la generación, es importante el “mix” con el cual se genera esa electricidad y qué tan afecto se ve a variables climáticas. [En este sentido] los sistemas de transmisión se deben modelar considerando los cambios del clima en el mediano y largo plazo, junto con la situación geográfica donde está y se planea expandir el sistema y los potenciales efectos del cambio climático en esas áreas. (Tomadores de decisiones).*

Casi un tercio de los expertos, en tanto, destacan la importancia del conocimiento disponible. De acuerdo con su análisis, el conocimiento preciso de la demanda energética de los usuarios, así como los usos que le dan a esta energía en las distintas viviendas, diferenciados por escenarios de calor y frío, épocas del año y las características climáticas específicas del asentamiento, es un aspecto esencial para adaptarse a mediano y largo plazo a problemas en la continuidad del suministro energético.

*La isla de calor urbana afecta a las ciudades en las zonas climáticas que tienen veranos prolongados secos*

*y calurosos. Aumenta la necesidad de enfriamiento de los edificios, lo que representa un considerable gasto de electricidad, o en su defecto, una mala calidad térmica de los interiores de los edificios. Se requiere, en primera instancia, muchas áreas verdes, más que techos o fachadas verdes, además de una planificación territorial, loteo y arquitectura optimizada para la protección solar y para el combate de la isla de calor urbana. c) Demanda de calor: en casi todo el territorio nacional se requiere calefaccionar los edificios en invierno. El sol es la única energía de calefacción gratuita y limpia que tenemos disponible. Su aprovechamiento requiere planificación territorial, loteo y arquitectura optimizada para este fin. (Sociedad civil).*

*En el sistema eléctrico, las compañías distribuidoras eléctricas pueden recurrir a sus datos de averías al año en las distintas zonas de las ciudades y poblados. Zonas con muchas averías indican, a menudo, que las instalaciones son antiguas y quizá han recibido “menos atención” por parte de las empresas. También deberían prestar atención al número de clientes fraudulentos, lo que requeriría una revisión de las redes eléctricas para detectar enganches ilegales. Posiblemente, las zonas con más fraude serían aquellas de mayor pobreza, lo que podría ayudar a analizar cómo podrían ayudarse al desarrollo de dichas zonas. (Academia).*



## A.5) CONCLUSIONES

### • Olas de calor

La siguiente tabla resume los principales acuerdos de los expertos en relación con los **impactos del cambio climático en la población chilena en términos de olas de calor** (Tabla 13).

Inestabilidad del suministro energético	Variables
Elementos expuestos	Trabajadores en el exterior
Factores de sensibilidad	Condiciones socioeconómicas
	Edad
	Densidad
Capacidad de respuesta y adaptación	Políticas públicas
	Infraestructura

**Tabla 13.** Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de olas de calor (Exposición, Sensibilidad y capacidad de respuesta y adaptación).

### • Inseguridad hídrica doméstica rural

La siguiente tabla resume los principales acuerdos de los expertos en relación con los **impactos del cambio climático en términos de escasez hídrica rural** en la población chilena (Tabla 14).

Inestabilidad del suministro energético	Variables
Elementos expuestos	Población rural
Factores de sensibilidad	Edad
Capacidad de respuesta y adaptación	Conocimiento
	Políticas públicas

**Tabla 14.** Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de inseguridad hídrica rural (Exposición, Sensibilidad y capacidad de respuesta y adaptación).

### • Inseguridad hídrica doméstica urbana

La siguiente tabla resume los principales acuerdos de los expertos en relación con los **impactos del cambio climático en términos de inseguridad hídrica doméstica urbana** en la población chilena (Tabla 15).

Inseguridad hídrica doméstica urbana	Variables
Elementos expuestos	Servicios de agua potable
	Energía eléctrica y otras energías
Interacción entre Amenazas	Complementariedad
Factores de sensibilidad	Condiciones socioeconómicas
Capacidad de respuesta y adaptación	Infraestructura
	Conocimiento disponible
	Sistemas tecnológicos y de innovación
	Políticas públicas

**Tabla 15.** Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de inseguridad hídrica urbana (Sensibilidad, Exposición, Interacción entre Amenazas y capacidad de respuesta y adaptación).

### • Inundaciones

La siguiente tabla resume los principales acuerdos de los expertos en relación con los **impactos del cambio climático en términos de inundaciones** en la población chilena (Tabla 16).

Inundaciones	Variables
Elementos expuestos	Energía eléctrica y otras energías
Interacción entre Amenazas	Complementariedad
Factores de sensibilidad	Condiciones socioeconómicas
	Emplazamiento en espacios vulnerables
	Población rural
Capacidad de respuesta y adaptación	Infraestructura
	Conocimiento
	Políticas públicas
	Coordinación horizontal

**Tabla 16.** Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de inundaciones (Sensibilidad, Exposición, interacción entre Amenazas y capacidad de respuesta y adaptación).



• **Inestabilidad del suministro energético**

La siguiente tabla resume los principales acuerdos de los expertos en relación con los **impactos del cambio climático en términos de suministro energético** en la población chilena (**Tabla 17**).

Inestabilidad del suministro energético	Variables
Elementos expuestos	Energía eléctrica y otras energías
Interacción entre Amenazas	Complementariedad
Factores de sensibilidad	Condiciones socioeconómicas
	Población rural
	Edad
Capacidad de respuesta y adaptación	Infraestructura
	Conocimiento disponible

**Tabla 17.** Variables relevantes en relación con el impacto del cambio climático en términos de suministro energético (Sensibilidad, Exposición, Interacción entre Amenazas y Capacidad de respuesta y adaptación).

## B) PARTE II: CADENAS DE IMPACTO

Para la construcción de las cadenas de impacto de las distintas Amenazas se consideraron dos fuentes de información. En primer lugar, la revisión de literatura científica y ‘gris’, nacional e internacional, analizando los principales impactos asociados a cada Amenaza, así como los factores de Exposición, sensibilidad y resiliencia con efecto sobre dichos impactos. Luego, la sistematización de fuentes de datos productivos-sectoriales, administrativos-institucionales y socioeconómicos o demográficos existentes en el país.

• **Olas de calor**

Tal como muestra la **Figura 44**, la Amenaza de olas de calor resulta en el impacto intermedio de estrés térmico y un impacto final en la salud humana (mortalidad y morbilidad). Los ámbitos expuestos a esta Amenaza es la población que debe lidiar con olas de calor, cuya sensibilidad depende de la isla de calor urbana, de empleos sensibles, de condiciones socioeconómicas, de condiciones etarias y de salud, y de otras condiciones democráticas, como el género, la etnia y los habitantes por vivienda. Por su parte, la resiliencia se encuentra determinada por la capacidad de respuesta institucional (servicios de urgencia, por ejemplo) y las estrategias, programas, planes, PLADECO y SCAM para la adaptación.

• **Inseguridad hídrica doméstica rural**

Tal como muestra la **Figura 45**, la Amenaza de la escasez hídrica rural resulta en el impacto intermedio de estrés hídrico territorial y un impacto final en la Vulnerabilidad hídrica (salud y satisfacción de necesidades). Los ámbitos expuestos a esta Amenaza es la población rural que debe lidiar con la escasez hídrica, cuya sensibilidad depende de la escasez hídrica, condiciones socioeconómicas, condiciones etarias y de salud, y otras condiciones demográficas, como el género, la etnia/procedencia y el número de habitantes por vivienda. Por su parte, la resiliencia se encuentra determinada por la capacidad de respuesta institucional (servicios de urgencia, por ejemplo) y las estrategias, programas, planes, PLADECO y SCAM para la adaptación.

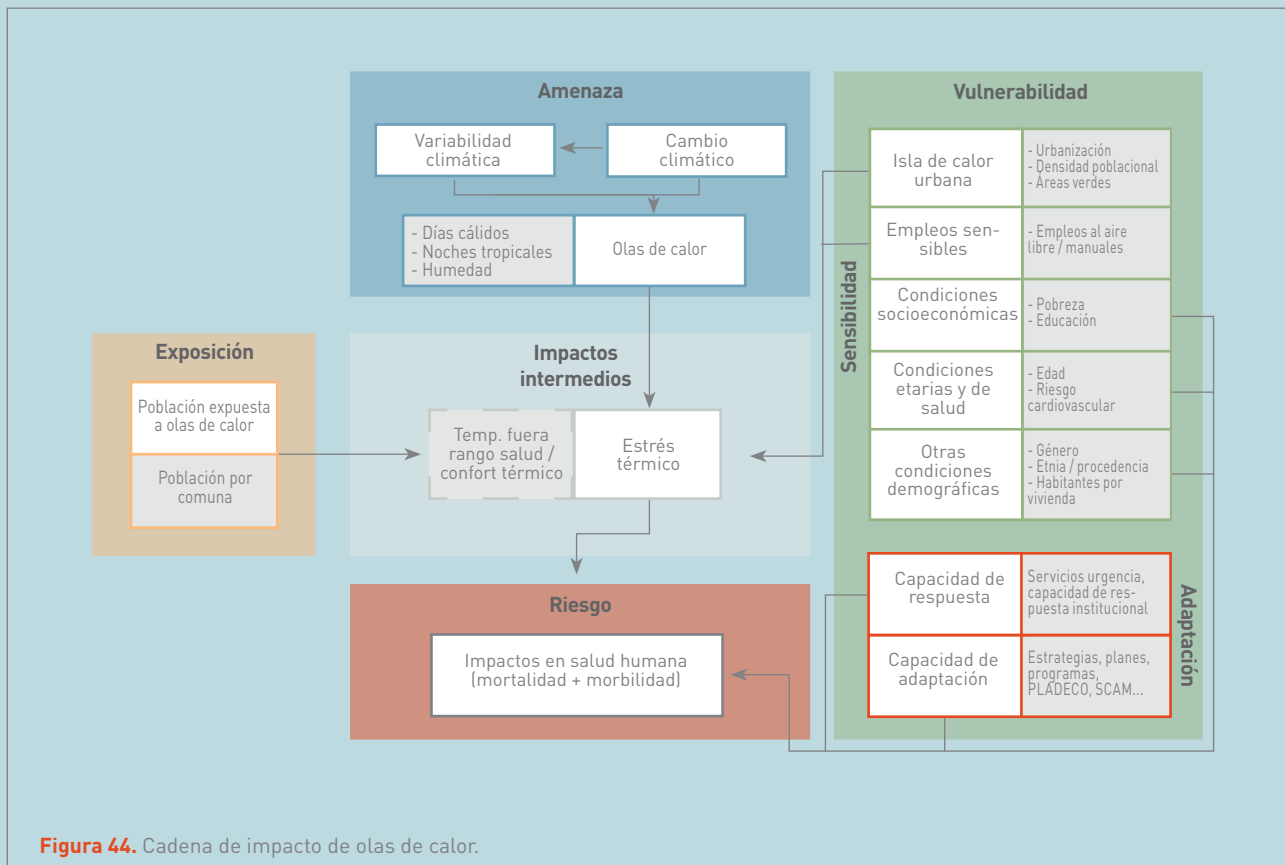


Figura 44. Cadena de impacto de olas de calor.

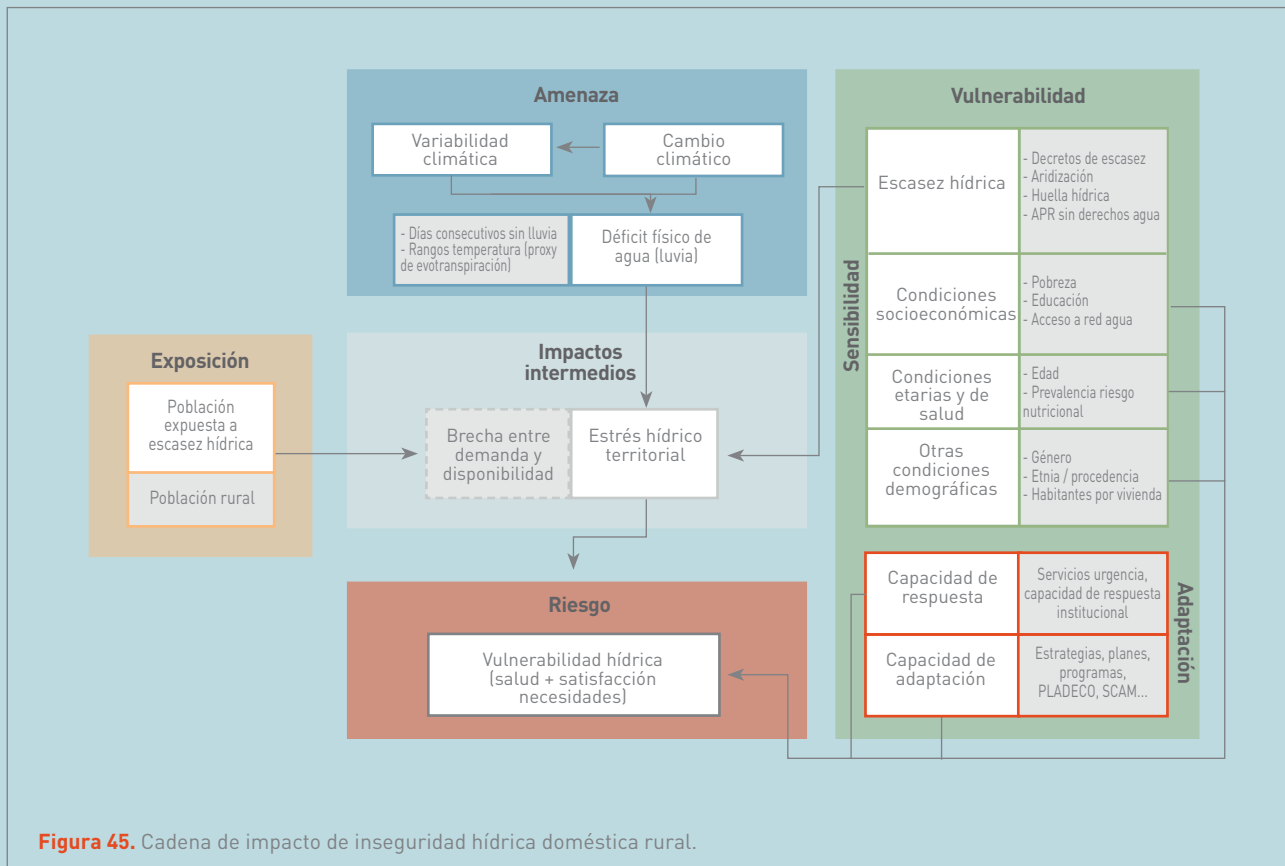


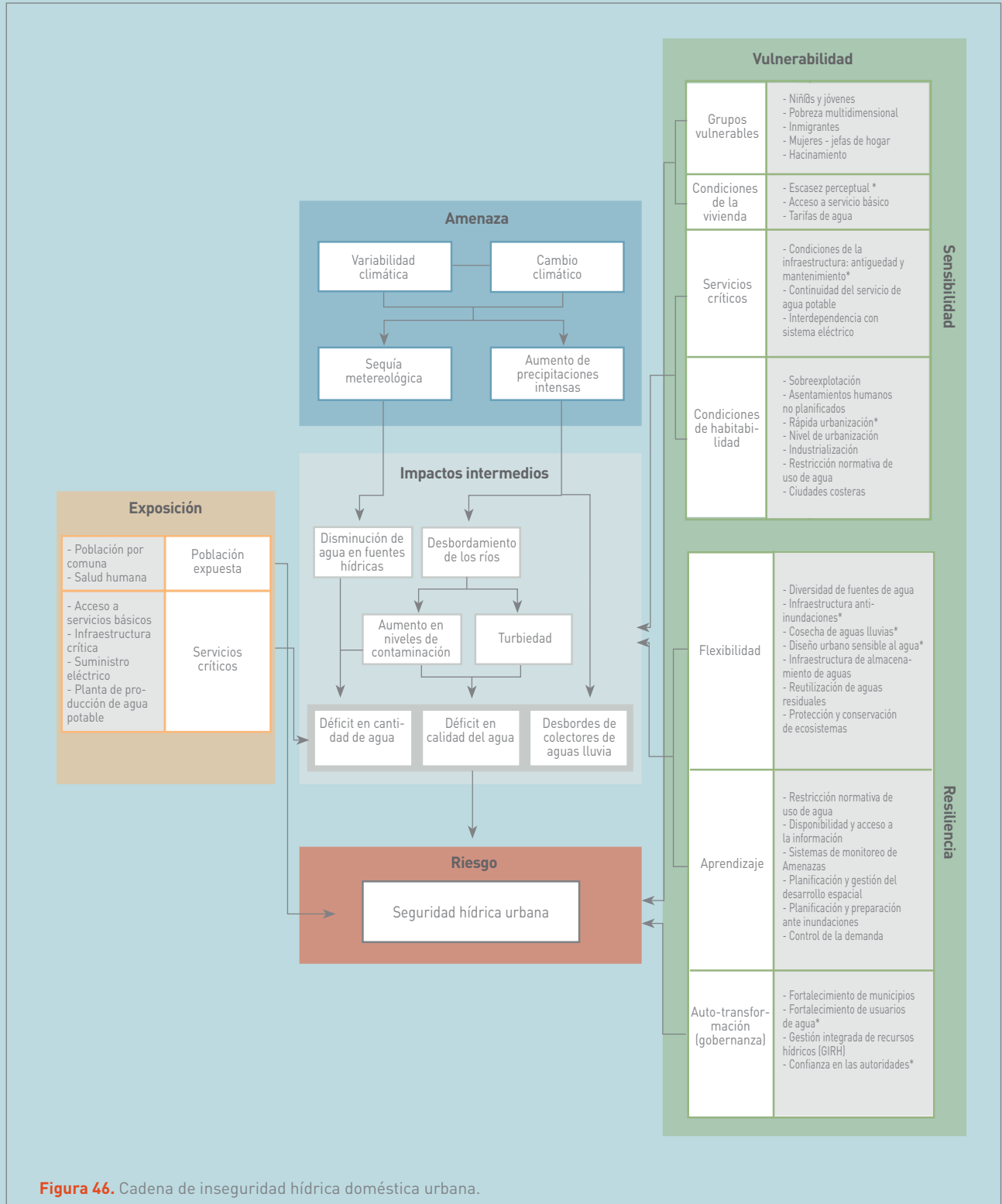
Figura 45. Cadena de impacto de inseguridad hídrica doméstica rural.



• **Inseguridad hídrica doméstica urbana**

Tal como muestra la **Figura 46**, la Amenaza de sequía meteorológica vinculada con el aumento de precipitaciones intensas resulta en tres impactos intermedios

(déficit en cantidad de agua, déficit en calidad del agua y desborde de colectores de aguas lluvia) y un impacto final (seguridad hídrica urbana). Los ámbitos expuestos a esta Amenaza son la población y los



**Figura 46.** Cadena de inseguridad hídrica doméstica urbana.



servicios críticos, cuya sensibilidad depende de la existencia de grupos vulnerables, de las condiciones de las viviendas, de los servicios críticos y de las condiciones de habitabilidad, compensada por su resiliencia.

• **Inundaciones**

Tal como muestra la **Figura 47**, la Amenaza de aumento de precipitaciones intensas (inundaciones) resulta en dos impactos intermedios (desborde de colectores de agua

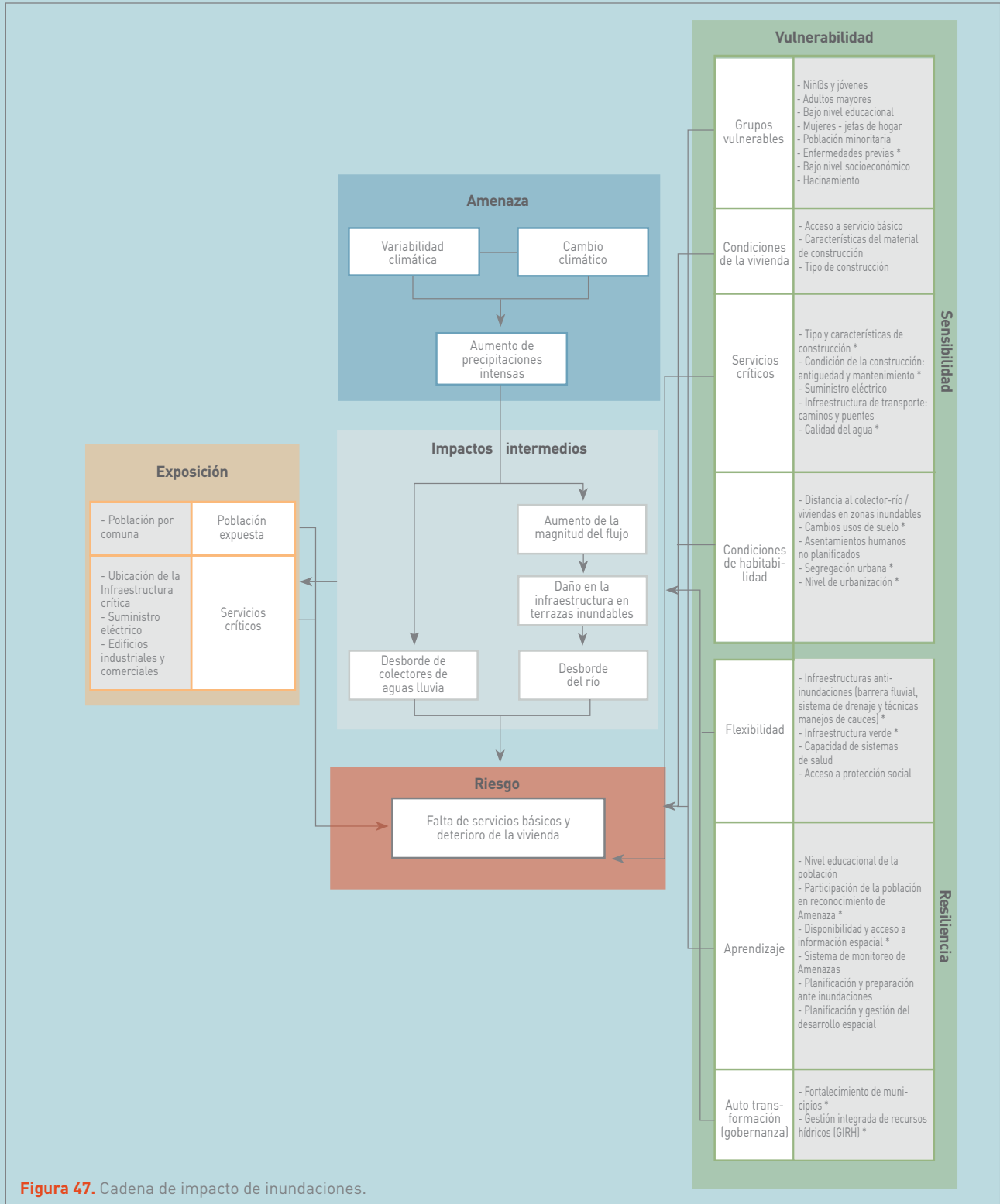
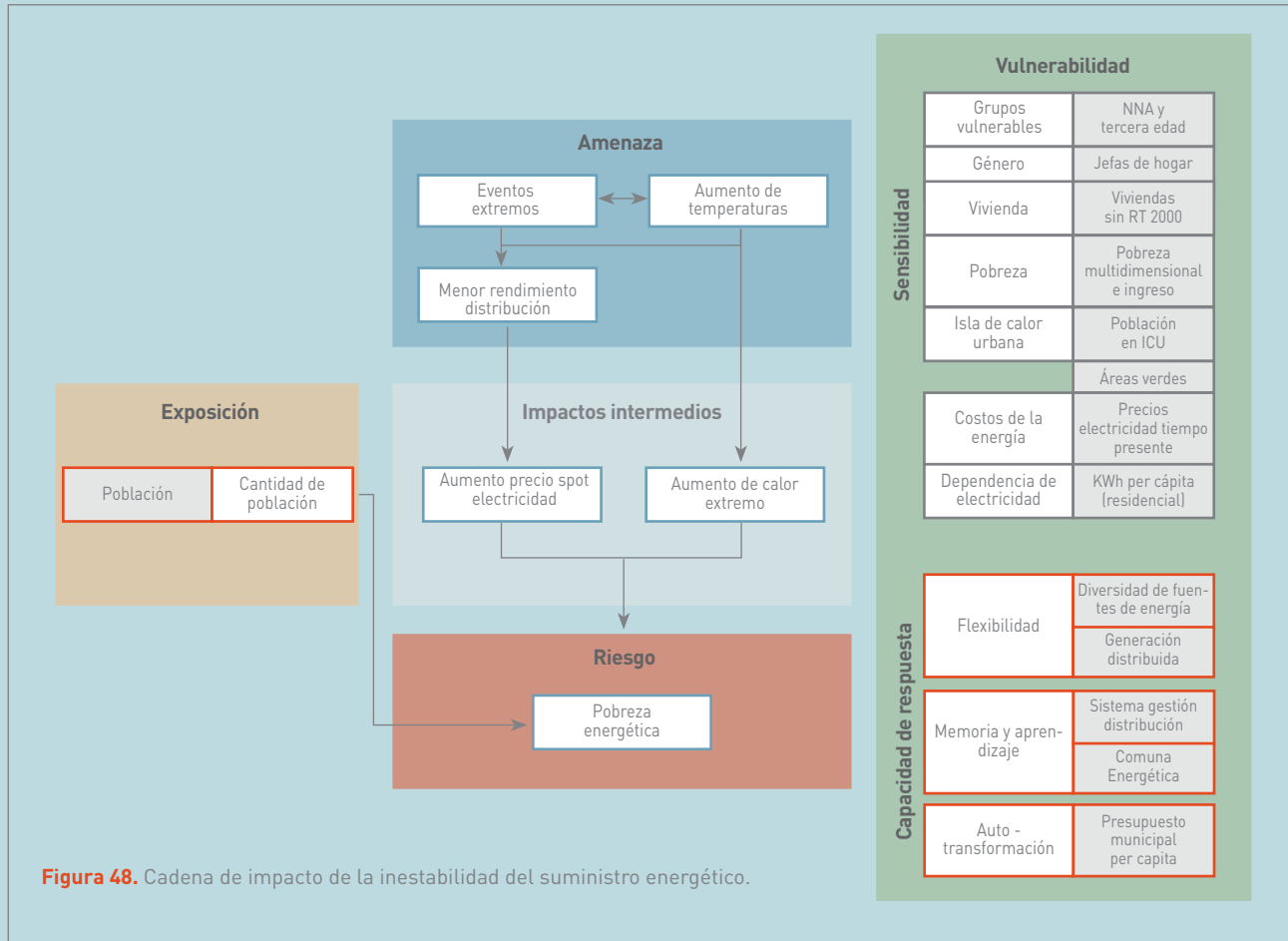


Figura 47. Cadena de impacto de inundaciones.



lluvia y aumento de la magnitud del flujo, daño en la infraestructura en terrazas inundables y desborde del río) y un impacto final (falta de servicios básicos y deterioro de la vivienda). El ámbito expuesto a esta Amenaza son la población y los servicios críticos, cuya sensibilidad depende de

la existencia de grupos vulnerables, condiciones de las viviendas, servicios críticos y condiciones de habitabilidad, compensada por su resiliencia, en particular, flexibilidad, aprendizaje y autotransformación (gobernanza).



**Figura 48.** Cadena de impacto de la inestabilidad del suministro energético.

• **Inestabilidad del suministro energético**

Tal como muestra la **Figura 48**, la Amenaza del menor rendimiento de la distribución energética (inestabilidad del suministro energético) resulta en dos impactos intermedios (aumento precio spot electricidad y aumento de calor extremo) y un impacto final (pobreza energética). El

ámbito expuesto a esta Amenaza es la población, cuya sensibilidad depende de la existencia de grupos vulnerables, el género, la vivienda, la pobreza, la presencia de islas de calor urbanas, costos de energía y dependencia de electricidad, compensada por su capacidad de respuesta, en particular, flexibilidad, aprendizaje y autotransformación.

## C) PARTE III: RETROALIMENTACIÓN

---

### • Inseguridad hídrica doméstica urbana

Los expertos académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil fueron, a continuación, consultados para un proceso final de retroalimentación, en el cual manifestaron su opinión respecto del impacto de la Amenaza de inseguridad hídrica doméstica urbana. En relación a los ámbitos expuestos, los expertos señalan que el servicio de agua potable puede verse afectado por la escasez de agua, debido a cambios y limitaciones en la frecuencia y horarios de disponibilidad del agua, el aumento de los costos de producción del agua potable, una disminución en la cantidad necesaria para satisfacer la demanda de la población y una baja en la presión sobre la red en el sistema de abastecimiento. En ese sentido, existe concordancia con la identificación previa de los servicios de agua potable como ámbito de Exposición.

*Hoy el problema es la falta, una inundación será esporádica y corta, pero las zonas urbanas no han preparado su infraestructura contra la falta de agua y solo están dejando pasar el tiempo y esperando que llueva y, si en todo el año no llueve, no están preparados. Todos agachan la cabeza. Y hablo de las empresas y el Estado. (Sociedad civil).*

*Los servicios de abastecimiento no siempre están completamente condicionados para enfrentarse a estrés del medio, como lluvias fuera de lo común por su intensidad, afectándose directamente a los usuarios. Un ejemplo de esto puede ser lo ocurrido en la comuna de Puerto Natales, a fines de octubre y principios de noviembre durante el 2017: hubo un par de días con lluvias muy intensas y, simplemente, el servicio de agua potable colapso y la comunidad resultó afectada seriamente durante varios días. (Academia).*

Con respecto a la interacción entre Amenazas, los expertos fueron consultados específicamente sobre la relación entre la sequía en zonas urbanas y la inestabilidad del suministro energético en estos territorios. Aquí no existe

una posición clara entre los entrevistados, siendo relativamente equivalente el número de expertos que consideran que no existe una relación y los que sí reconocen esa relación, lo cual entra en conflicto con lo identificado por el consenso del análisis inicial. En el caso de quienes señalan que no hay relación, argumentan que el carácter interconectado del sistema eléctrico y la posibilidad de conseguir energía de otras zonas aseguran que el servicio continúe estando disponible, a pesar de la combinación de Amenazas. Quienes consideran que sí existe relación mencionan que los procesos de acumulación de agua de las centrales hidroeléctricas se verían severamente afectados ante sequías extensas. De todos modos, en un punto intermedio, existe un grupo de entrevistados que rescata la consideración de la Amenaza a las centrales hidroeléctricas, aunque agrega que esto puede ser subsanado mediante el uso de energías de otras fuentes o a través del desarrollo de ciudades inteligentes.

*No [existe] mucha [relación], ya que el sistema eléctrico esta interconectado (Academia). El desarrollo de las centrales hidroeléctricas se ve afectado ante una extensa sequía, donde no pueda ser obtenida el agua para hacer uso no consuntivo de esta. (Academia).*

*Según el documento enviado, se relaciona con la generación eléctrica en las plantas hidroeléctricas. Pero, se podría palear utilizando generadoras con otras fuentes, como solar y eólica, y la planificación de una ciudad inteligente. (Sociedad civil).*

En relación a la Sensibilidad, los expertos consideran que existen distintas características socioeconómicas que pueden agudizarla frente a escenarios de sequía. En primer lugar, casi la totalidad de los expertos identifica la dimensión económica como relevante y, refieren a ella como pobreza y como “capacidad económica” para costear tecnologías de climatización. En segundo lugar, otra característica socioeconómica mencionada con frecuencia se vincula a las características del territorio, incluyendo las diferencias de lo urbano y lo rural, y la relevancia de la existencia o no de zonas verdes e islas de calor. En tercer lugar, de manera más aislada, se mencionan características de vivienda y habitabilidad, dentro de



las que se señalan la calidad de aislamiento térmico y el hacinamiento, respectivamente. La cuarta característica se vincula a la actividad laboral, señalando, como ejemplo de sensibilidad, el desarrollo de trabajos de agricultura y ganadería a distinta escala.

En relación con la Capacidad de respuesta y adaptación, los expertos plantean estrategias a corto, mediano y largo plazo que puede realizar la población para responder a la escasez hídrica y mejorar la situación del país. Frente a esto, dos tercios de los expertos consideran relevante potenciar la eficiencia en el uso de agua a nivel doméstico e industrial, mediante mejoras en infraestructura, capacitaciones y concientización respecto de su uso, mientras que un tercio considera que es necesario centrarse en la planificación urbana, con el fin de controlar la expansión de los límites de las ciudades. De manera más aislada, se considera relevante invertir en infraestructura que permita reutilizar aguas grises y negras, separar el consumo urbano del industrial y la utilización de fuentes alternativas de energía eléctrica. Los siguientes fragmentos ilustran las distintas estrategias planteadas.

*Mejorar la eficiencia en el uso de agua a nivel industrial y doméstico. También, invertir en infraestructura para la reutilización de las aguas grises y negras a todo nivel. (Academia).*

*Controlar la expansión urbana, a través de la adecuación de los planes reguladores comunales, intercomunales y PROT. (Academia).*

*[Una alternativa es la] utilización del agua urbana, principalmente, para la población, [mientras que] para las empresas [es necesario] realizar un estudio de desalinización para uso industrial. Utilizar otras fuentes para la generación eléctrica y, como ya se ha indicado anteriormente, autogeneración para cada vivienda. (Sociedad civil).*

Finalmente, en relación con la cadena de impacto de inseguridad hídrica doméstica urbana, los expertos sugieren una serie de indicadores para dar cuenta de la tasa de crecimiento de las ciudades y comunas, más allá de las

principales ciudades. Entre estos, el mencionado con mayor frecuencia es el consumo de servicios de agua y energía, seguido por las condiciones del servicio de agua potable y alcantarillado, las tasas de aumento de la población, densificación, viviendas y empresas, el tráfico en carreteras, los cambios en el comportamiento del mercado del agua y, por último, la solicitud de nuevos derechos sobre el agua.

#### • Inundaciones

Los expertos académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil fueron, a continuación, consultados para un proceso final de retroalimentación, donde plantearon su perspectiva respecto de la Amenaza de inundaciones. En relación con los ámbitos expuestos, existen consenso al señalar que los servicios críticos más expuestos y afectados por las inundaciones son la infraestructura de alcantarillado y colectores de agua, el abastecimiento de agua potable y el suministro eléctrico, coincidiendo este último con el acuerdo originalmente identificado en las opiniones de los expertos. De todos modos, se mencionan también, de manera aislada, los servicios de telecomunicaciones y de transporte como elementos expuestos ante episodios de inundaciones.

En función de lo anterior, se sugiere una serie de indicadores que podrían ser útiles para evaluar la calidad y cantidad de dichos servicios en el territorio nacional. Al respecto, no hay coincidencia entre lo planteado por ninguno de los expertos, aunque tampoco se identifican contradicciones. Así, los indicadores mencionados refieren a los tiempos de interrupción del tránsito y del suministro de los servicios, la capacidad de carga de estos, la población afectada por dichas interrupciones y, por último, las proyecciones futuras de precipitaciones.

En cuanto a las variables relevantes para evaluar la exposición del servicio de transporte en particular, tampoco se encuentran coincidencias ni discrepancias, mencionándose como factores de interés la frecuencia y cumplimiento de rutas, el número de puentes en cada río principal, la distancia entre estos y, la concentración y distribución de lugares residenciales.

En relación con la Sensibilidad, los expertos coinciden en que las zonas que se encuentran en contacto con cauces, quebradas y riberas de ríos (como las áreas periurbanas) son especialmente vulnerables a las inundaciones. A esto suman las zonas cercanas a cerros y aquellas en las que se proyecta un probable aumento de precipitaciones en los próximos años. Por otro lado, los expertos señalan distintas características socioeconómicas que elevan la sensibilidad de la población ante esta Amenaza (una vez más, sin consenso ni discrepancias), indicando, entre las principales, la calidad de las viviendas, su ubicación y el nivel socioeconómico del hogar, sumado al hacinamiento, el bajo nivel de escolaridad, la edad, el género y el bajo acceso a medios de comunicación. En ese sentido, existe una coincidencia con lo rescatado del análisis inicial, en la medida que el emplazamiento geográfico en territorios vulnerables y las condiciones socioeconómicas de la población resultan relevantes para los expertos en esta materia. El siguiente fragmento ilustra alguna de estas ideas.

*La ubicación de sus viviendas en zonas de alto riesgo de inundaciones (ríos, quebradas, orillas de mar, etc.) [aumenta la sensibilidad, y esto ocurre] debido a que emplazan sus viviendas cerca de zonas con acceso más directo al agua, por su trabajo (pescadores), para sus rebaños o para su consumo personal, al no contar con infraestructura de acceso de agua potable. (Sociedad civil).*

*[Otro elemento que eleva la sensibilidad es] la materialidad de [las] viviendas, generalmente, construidas en madera o material ligero, que las hacen más susceptibles ante cualquier tipo de catástrofes, ya que no cuentan con un fondo económico para el acceso a construcciones de mayor capacidad de enfrentar escenarios de inundaciones. (Sociedad civil).*

Finalmente, en lo que respecta a la cadena de impacto de inundaciones, los expertos sugieren indicadores para dar cuenta de la tasa de crecimiento de las ciudades y comunas, más allá de las principales ciudades, incluyendo el consumo de servicios básicos y el número de viviendas ubicadas a menos de 300 metros de un cauce natural o artificial.

### • Inestabilidad del suministro energético

Los expertos académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil fueron consultados nuevamente para un proceso final de retroalimentación, donde plantean sus precisiones sobre el impacto de la inestabilidad del suministro eléctrico en los sectores urbanos. En primer lugar, en lo que respecta a los factores de Sensibilidad, un tercio de los actores señala que los bajos ingresos juegan un rol importante, siendo para casi la totalidad de ellos la principal característica que eleva esta dimensión de Vulnerabilidad de la población. En segundo lugar, un tercio de los consultados identifica a los grupos vulnerables —en relación a factores etarios y de dependencia de terceros— como especialmente sensibles a esta Amenaza, ocupando el segundo lugar dentro de las características más salientes. En tercer lugar, la ruralidad es mencionada por un cuarto de los consultados, siendo para la mayoría de ellos la tercera característica socioeconómica que más eleva la sensibilidad. De este modo, las variables ya identificadas y seleccionadas como factores de Vulnerabilidad son efectivamente indicados como relevantes entre los expertos.

*Creo que los ingresos familiares son un factor clave (ingresos equivalentes, considerando los miembros de la familia), considerando el alto porcentaje del gasto energético total que implica el consumo eléctrico. Destacaría la presencia de adultos mayores o niños, por que implican un mayor gasto para las familias y tienen mayor riesgo de sufrir enfermedades graves. (Tomadores de decisiones).*

Sin embargo, al mismo tiempo, es importante señalar que se mencionan otras variables socioeconómicas, no enunciadas en la consulta inicial a representantes del mundo de la academia, de la sociedad civil y de la política pública. Estas tienen que ver, principalmente, con el gasto en energía (costo de la misma, pago de impuestos y el precio de los productos básicos), la dependencia de electricidad, las características de la vivienda y del territorio, la arquitectura de las ciudades, integración de las áreas verdes, la existencia de islas de calor, la disponibilidad de energía, las características del sistema de distribución, la presencia de pobreza energética en el hogar, el uso de





biocombustibles, el género, el nivel educacional de la población y la deficiencia en términos de políticas públicas. Es preciso considerar la notable heterogeneidad en las respuestas: solo las cuatro primeras variables (gasto en energía, dependencia de electricidad, características de la vivienda y del territorio y arquitectura de ciudades) son mencionadas por más de un entrevistado.

[En el caso de los hogares con presencia de adultos mayores o niños], *si la calefacción y otros servicios energéticos básicos dependen de la electricidad, la inestabilidad del suministro puede tener impactos aún más graves para ellos.* (Tomadores de decisiones).

En lo que respecta a la cadena de impacto, los expertos fueron consultados por la variable “costo de energía actual” (período de referencia 2017) en relación con un indicador que revisa el cambio observado del precio de la electricidad en el tiempo presente y un escenario de cambio climático (+2 °C). Esta variable fue incluida con el objetivo de integrar una medida de Sensibilidad para aquellas comunas con costos energéticos por sobre el promedio nacional y, si bien suele ser considerada apropiada, los expertos realizaron distintas apreciaciones al respecto. Dentro de estas, se cuestiona por qué no se utilizaron los datos de costo de energía actuales, a la vez que se señala la necesidad de incluir los datos de más años para robustecer el análisis. Por otro lado, se releva la importancia de considerar otras variables que puedan propiciar un aumento de los precios, como los factores que influyen en el proceso de formulación de la política pública, además de revisar cuál es el criterio bajo el cual se conseguirá e interpretará dicho dato para que resulte más claro y preciso. Los siguientes fragmentos ilustran estas precisiones.

*Me parece muy acertado. Dado que en este estudio se detallan, precisamente, los efectos del cambio climático, [la variable “costo de la energía actual”] es una buena forma de dar una estimación realista de los efectos que se esperan. Y, por supuesto, incluir los datos de precios pasados resultará mucho más claro para mostrar y sustentar las conclusiones del estudio.* (Academia).

#### Algunas acotaciones:

1. *Puede haber comunas que tengan costos altos de energía (en el sur de Chile, por ejemplo) y aunque la temperatura aumente 2 °C puede ser poco probable encontrar noches tropicales (pensando en proyecciones de IPCC de alzas de temperatura en nuestras latitudes, corroborar con proyecciones actuales del informe 6 que se está trabajando), y de todas formas puedan experimentar un aumento de precios por otras variables.*

2. *Se podrían experimentar alzas de costos debido a un aumento de reposición (mantención) del servicio energético por parte de las empresas distribuidoras, a causa de eventos climáticos extremos producto del cambio climático, debido a un aumento de 2 °C (como mínimo) de la temperatura promedio global.* (Sociedad civil).

*No me queda claro el indicador con esta descripción. Sería interesante revisar cómo se está considerando la variable de costo y cómo se busca obtener para una comuna particular. Lo habitual para comparar comunas con respecto al promedio nacional es el costo para las familias de un consumo tipo, no solo el \$/kWh. ¿Es posible revisarlo con más detalle?, de todas formas, creo que es una variable interesante de analizar.* (Tomadores de decisiones).

Por último, los expertos fueron consultados sobre el estado de las políticas nacionales en eficiencia energética, con el objetivo de que realizar un ejercicio reflexivo en torno al uso de energía, que busque mejorar la capacidad de respuesta de los territorios. Dentro de las iniciativas destacadas por académicos, tomadores de decisiones e integrantes de la sociedad civil, se encuentra el Programa Con Buena Energía, la iniciativa Ponle Energía a tu Pyme del Programa Gestiona Energía MiPyMEs, los Planes Energéticos Regionales y el Programa Techos Solares Públicos (PTSP), todos del Ministerio de Energía; el Programa de Protección al Patrimonio Familiar (PPPF) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo; encuestas locales, capacitaciones de cambio de matriz energética y subvenciones a diferentes fuentes y usos de energía; además de otras iniciativas públicas que aún no se han implementado



y otras que, si bien no necesariamente cumplen con las características del enunciado, igual resultan relevantes para este ámbito. Algunas de las respuestas de los expertos son mostradas a continuación.

*Se encuentra pronto a salir un reglamento que busca impulsar el desarrollo de generación distribuida de propiedad conjunta, para facilitar la compra de sistemas solares en una comunidad. La idea es conectar este reglamento con otros programas públicos, como los subsidios que entrega MINVU. El gobierno tiene una meta de cuadruplicar la capacidad instalada de generación distribuida, el 2018 se modificó la ley para incorporar esta modalidad y durante el año 2019 se trabajó en el reglamento, que ahora está en las últimas etapas de revisión en la contraloría. (Tomadores de decisiones).*

*No conozco ningún otro programa como tal. Ahora bien, me gustaría mencionar los cambios legislativos que*

*ocurren poco a poco en materia del sistema eléctrico, que contribuyen a que las energías renovables se expandan y se mejore la organización del sistema eléctrico. Un ejemplo de esto sería la instalación de contadores eléctricos inteligentes. Esta medida, si bien tuvo sus detractores, me pareció un gran avance para que las compañías eléctricas puedan continuar mejorando su gestión del sistema eléctrico. (Academia).*

*(...) si bien no cumplen con las características, señalo:*  
- La Política Energética 2050 del Ministerio de Energía, que estipula una actualización cada cinco años (y sus actualizaciones que actualmente se está trabajando)  
- Plan de Adaptación al Cambio Climático Sectorial Energía del Ministerio de Medio Ambiente (el cual no tengo conocimiento si estipula fecha de actualización o apuntará con la nueva ley marco CC). (Sociedad civil).

## **7.2 ANEXO 2: FICHAS DE INDICADORES (DESCRIPCIÓN, JUSTIFICACIÓN DE SU RELEVANCIA Y REFLEXIÓN DE LÍMITES).**

Anexo en documento Excel.

## **7.3 ANEXO 3: REPOSITARIOS**

Anexo en documento Excel.

## **7.4 ANEXO 4: EXPLORACIÓN DE UN ÍNDICE DE RESILIENCIA GENÉRICA**

Anexo en documento PDF.

## **7.5 ANEXO 5: PILOTO RIESGO INTEGRADO DE ASENTAMIENTOS HUMANOS. CONURBACIÓN VALPARAÍSO - VIÑA DEL MAR**

Anexo en documento PDF.

## **7.6 ANEXO 6: PILOTO RIESGO INTEGRADO. CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL - REGIÓN DE O'HIGGINS**

Anexo en documento PDF.

