

VULNERABILIDAD *HÍDRICA* *TERRITORIAL:* *MARCO ANALÍTICO Y APLICACIONES*

EQUIPO



Nicolás Álamos, Tamara Monsalve, Marco Billi, Inti Lefort, Angel Allendes, José Navea, Rubén Calvo, Anahí Urquiza.

Octubre 2021.



VULNERABILIDAD HÍDRICA TERRITORIAL: MARCO ANALÍTICO Y APLICACIONES

Documento de trabajo NEST N° 3

DOI: 10.17605/OSF.IO/AGJ6P

Autores coordinadores: Nicolás Álamos, Tamara Monsalve

Autores colaboradores: Marco Billi, Inti Lefort, Angel Allendes, José Navea, Rubén Calvo, Anahí Urquiza.

Citar este documento como: Álamos, Monsalve, et al., 2021

Referencia: Álamos, N., Monsalve, T., Billi, M., Lefort, I., Allendes, A., Navea, J., Calvo, R., Urquiza, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica territorial. Documento de trabajo NEST-r3 N°3, Santiago, Chile. <https://www.doi.org/10.17605/OSF.IO/AGJ6P>

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los aportes y comentarios de Cristián Escobar, Paloma Escobar y Rodrigo Fuster, del Laboratorio

de Análisis Territorial de la Universidad de Chile, de Camila Alvarez-Garretón y Gustavo Blanco del Centro del Cima y la resiliencia., de María Cristina Fragkou del Departamento de Geografía, Facultad de Arquitectura y Urbanismo y de Francisca Adasme, Catalina Amigo, Damaris Arrieta, Valentina Barrera, Matías Fleischmann,, Deyanira Labra, Ignacio Neira, Guillermo Piñones, Natalia Prieto, Javiera Rauld, Tamara Oyarzun y Daniela Peña del Núcleo de Estudios Sistémicos Transdisciplinarios (NEST-r³) de la Universidad de Chile.

FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por el Centro del Clima y la Resiliencia (CR)² (ANID/FONDAP # 1511009).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Presentación	5
2. Hacia un concepto de vulnerabilidad hídrica territorial	7
2.1 Seguridad e inseguridad hídrica	7
2.2 Territorios	8
2.3 Servicios hídricos	8
2.4 Brechas hídricas.....	10
2.5 Vulnerabilidad y riesgos hídricos	12
2.6 Resiliencia	14
3. Marco metodológico para caracterizar la vulnerabilidad hídrica territorial	16
3.1 Necesidades y servicios hídricos domésticos:	20
3.2 Sistemas y procesos técnicos del agua potable y su interacción con los sistemas ecológicos y socioculturales	22
3.3 Amenazas del sistema observado	28
3.5 Sensibilidad y resiliencia	30
3.6 Vulnerabilidad y riesgo hídrico territorial	32
➤ Box 1 Indicadores de resiliencia hídrica para el sistema sociotécnico urbano, el caso de las empresas sanitarias.....	33
Referencias	37
➤ Box 2	38
Aplicación del marco de VHT a la seguridad hídrica doméstica en sectores urbanos: un análisis del gran valparaíso.....	38
Caracterización del área de estudio y su sistema técnico	39
Riesgo del sistema de agua potable urbana del gran valparaíso.	41
Distribución de la vulnerabilidad hídrica en el gran valparaíso	42
Referencias	45
➤ Box 3	46
Evaluación de la vulnerabilidad hídrica territorial considerando las interacciones entre agua, energía y alimentos	46
Referencias	50
Conclusiones.....	50
Referencias	53
Anexo 1	65
Anexo 2	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relaciones conceptuales entre seguridad, inseguridad, acceso equitativo, sostenibilidad y resiliencia. Fuente: Urquiza y Billi (2020).	8
Figura 2. Brechas hídricas en términos de los estándares de acceso equitativo y de calidad y cantidad de los servicios hídricos. Fuente: Urquiza y Billi (2020).....	12
Figura 3. Marco conceptual del riesgo. Fuente: CR2 (2018) en base a IPCC (2014b).	13
Figura 4. Dimensiones de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia en base a RedPE, 2020.....	16
Figura 5. Fases metodológicas para la caracterización de la Vulnerabilidad Hídrica Territorial. Fuente: Elaboración propia en base a RedPE, 2020.....	19
Figura 6. Cadena de impactos anidada que determina el riesgo de la seguridad hídrica de la población. Fuente: Elaboración propia.	20
Figura 7. Necesidades básicas y fundamentales de los servicios hídricos. Fuente: Elaboración propia en base a Urquiza y Billi (2020).....	22
Figura 8. Interacción del sistema y procesos técnicos hídricos y el entorno relevante. Fuente: Elaboración propia basada en RedPE, 2020.	27
Figura 9. Interacciones entre amenazas, ecosistemas, sistemas técnicos de distribución y satisfacción de necesidades. Fuente: Elaboración propia en base a Urquiza y Billi (2020).....	30
Figura 10. Resumen de las dimensiones e impactos de la Vulnerabilidad Hídrica Territorial. Fuente: Elaboración propia en base a Urquiza y Billi (2020) y RedPE., (2020).	31
Figura 11. B1.1. Indicadores de resiliencia, según dimensiones de flexibilidad, memoria y auto transformación. Elaboración Propia en base a RedPE, 2020.....	35
Figura 12. B2.1. Área Metropolitana del Gran Valparaíso, Río Aconcagua, Embalse Los Aromos, Conducción de AP, Captaciones superficiales y subterráneas, Cobertura de las sanitarias por Cuarteles y Manzanas Censales del Gran Valparaíso. Esquicio: Cuencas y acuíferos presentes en el área de Estudio. Fuente: Elaboración propia en base a ESVAL (SISS) y Censo (2017).....	41
Figura 13. B2.2. Cadena impactos al riesgo de la inseguridad hídrica urbana a nivel doméstico en el Área Metropolitana del Gran Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.	42
Figura 14 B2.3 Distribución de la capacidad de la sensibilidad (a), Capacidad de respuesta (b) y vulnerabilidad (c) ante la inseguridad hídrica urbana a nivel doméstico en el Área Metropolitana del Gran Valparaíso. En (d) se indica clusters de alta vulnerabilidad en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 15. B3.1. Diagrama resumen modelo FCM. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 16. B3.2. Resultado modelación FCM escenario de sequía; geometría sigmoide. Color azul: sector agua; naranja: sector alimento; verde: sector energía; rojo: nexo agua-alimento; café: nexo agua-energía. Fuente: Elaboración propia.	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de agua aportada por cada captación a localidades del Gran Valparaíso.....	68
---	----

1. PRESENTACIÓN

La crisis hídrica evidenciada en los últimos años a nivel global ha puesto de relieve la necesidad de establecer metas unificadas para el **logro del acceso universal al agua potable y saneamiento** (Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 6), en el contexto de cambio climático que posiciona a la **sequía como una de las amenazas más graves**, presente en distintas regiones del mundo. Según las proyecciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014b), se espera una reducción de recursos renovables de aguas superficiales y subterráneas, un aumento de la frecuencia e intensidad de sequías a finales del siglo XXI (con arreglo al escenario RCP8,5), e incluso, disminuciones en la calidad del agua potable, debido a una mayor concentración de contaminantes durante la sequía (IPCC, 2014b). Además, la importancia de **la seguridad hídrica se ve incrementada en la crisis sanitaria provocada por la propagación del COVID-19** (Staddon et al., 2020), ya que no sólo tensiona el funcionamiento de los servicios fundamentales para la salud y el desarrollo humano, sino que también **tensiona los servicios hídricos donde el acceso ya está limitado para muchas personas en el mundo**, restringiendo la posibilidad de un correcto lavado de manos (medida de higiene básica para combatir la propagación del virus) según la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2020a).

En este escenario, destaca la situación de la zona central de Chile, donde se ha podido observar una **sequía ininterrumpida por la sucesión ininterrumpida de años secos, con déficits de precipitaciones que van desde el 25 al 45% en el centro de Chile** para el periodo 2010-2018 (Garreaud et al., 2017, 2019) y que superaron el 70% el año 2019. Según cálculos de la DGA (2018 ;2019), la disponibilidad de recursos hídricos ha disminuido, de forma sostenida y creciente, en un 20% en la macrozona del sur y en más de un 50% en las zonas norte y centro. Acorde a proyecciones climáticas mundiales, se identifica la zona central de Chile como un hotspot donde aumentará la recurrencia y magnitud de las amenazas de sequía (Prudhomme et al., 2014). 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, tanto por la disminución del manto nival acumulado, como por la merma de los glaciares, que han disminuido en un 8% la última década (DGA, 2018), limitando las posibilidades de tener fuentes hídricas en el futuro.

La **escasez hídrica** también se puede generar por motivos que van más allá de las condiciones climáticas, vinculadas, por ejemplo, a **la gestión, regulación e infraestructura** que define el acceso, su propiedad y utilización y/o a **actividades productivas** que necesitan de grandes volúmenes de agua para su desarrollo, generando desigualdades hídricas territoriales en escalas que pueden ir desde lo local a lo global. Así, la **necesidad de satisfacer una multiplicidad de usos del agua**, ya sea para el consumo humano, el desarrollo

productivo, prácticas culturales o su conservación en los territorios, aumenta la demanda por el agua y, con esto, el **riesgo a la inseguridad hídrica** bajo los efectos del cambio climático.

La **comprensión analítica de la seguridad hídrica** requiere de la **combinación de dos miradas** (Urquiza & Billi, 2020): una de **corte transversal**, que evalúe el acceso equitativo, la calidad y la cantidad de los servicios ofrecidos en distintos territorios o, inversamente, evidenciando **brechas en términos de acceso y/o equidad** (Bohoslavsky & Justo, 2011; UN WATER, 2013; Wood et al., 2019) y otra desde una **perspectiva longitudinal**, que examine la **sostenibilidad y resiliencia de estos servicios frente a distintos tipos de amenazas en el tiempo** (Grizzetti et al., 2016; Hussien et al., 2018; Peña, 2016). La intersección entre esas dimensiones analíticas, observadas a la vez, es necesaria para abordar la **(in)seguridad hídrica**, permitiendo relevar sus distintos niveles y priorizar aquellos territorios que enfrentan brechas de acceso que limitan la satisfacción de las necesidades del sistema y/o riesgos significativos que puedan afectar la provisión de los satisfactores de dichas necesidades en el futuro.

En este sentido, la noción de (in)seguridad hídrica utilizada en este documento busca aportar a la generación de políticas públicas que aborden su complejidad y sus distintos componentes, es decir, **que sean capaces de disminuir las brechas de acceso a los servicios hídricos además de aumentar las condiciones de sostenibilidad y resiliencia de los mismos** (Urquiza & Billi, 2020).

En base a estas consideraciones, el presente documento de trabajo desarrolla el avance, en términos conceptuales y metodológicos, de la **dimensión de riesgo y resiliencia de la seguridad hídrica**. Para aquello, considerando investigaciones anteriores (Amigo, 2020; CR2, 2018; Urquiza et al., 2020) se busca **observar distintas perspectivas para el análisis e integración de indicadores que permitan construir un índice de vulnerabilidad hídrica territorial (VHT)**, que permita evaluar y comparar las condiciones de vulnerabilidad hídrica de diferentes territorios, en múltiples escalas.

Para lograr este objetivo, en la primera sección del documento se presentan las etapas necesarias para la conceptualización de la vulnerabilidad hídrica territorial en términos del riesgo frente a la inseguridad hídrica; y en la segunda, se presenta su aplicación en el Gran Valparaíso como caso de estudio. Al finalizar, se plantean reflexiones y recomendaciones útiles que se pueden integrar y así robustecer el ejercicio desarrollado.

2. HACIA UN CONCEPTO DE VULNERABILIDAD HÍDRICA TERRITORIAL

En la presente sección, se ilustran los principales conceptos empleados en el presente documento de trabajo, que son necesarios para comprender a cabalidad el alcance y la potencialidad del marco propuesto en torno a la VHT, así como la propuesta metodológica y aplicación empírica del marco que se presenta en el documento. Con este fin, se parte definiendo el concepto de (in)seguridad hídrica, para luego dar cuenta de otras nociones auxiliares en la definición de aquella: territorio, riesgo y servicios.

2.1 SEGURIDAD E INSEGURIDAD HÍDRICA

El presente trabajo adopta y extiende la definición de **seguridad hídrica** basado en dos interpretaciones que se hacen en la literatura científica e institucional sobre el concepto. Por una parte, se identificaron enfoques que comprenden la seguridad desde la comprensión de la **satisfacción de necesidades**, como el uso doméstico, de subsistencia y productivos (Bohoslavsky & Justo, 2011), donde también se consideran los usos que permiten el mantenimiento del ecosistema. Bajo esta concepción, la seguridad requeriría asegurar disponibilidad y acceso al servicio hídrico, en términos de cantidad y calidad (Wood et al., 2019), considerando la distribución equitativa del acceso al agua (Grey & Sadoff, 2007).

Paralelamente, hay enfoques que priorizan la necesidad de un **uso sostenible de los recursos hídricos** (Peña, 2016) y los posibles riesgos que afecten el suministro del servicio hídrico y, por tanto, la satisfacción de las necesidades de la población. Esta perspectiva considera tanto amenazas naturales como socialmente producidas, donde se destaca el cambio climático como fenómeno global, y transformaciones demográficas y de urbanización (Hutton & Chase, 2016). Así, se identifica la vulnerabilidad y resiliencia de los territorios, destacando la interrelación (o nexo) entre servicios y necesidades de distinta naturaleza.

Bajo este marco, Urquiza y Billi (2020) proponen que la seguridad hídrica se entiende como "la capacidad de un territorio para evitar, mitigar o adaptarse a los peligros que enfrenta el sistema hídrico y garantizar el acceso equitativo —en calidad y cantidad— a servicios hídricos resilientes, que permitan el desarrollo humano y económico sostenible de su población, promoviendo a su vez la sostenibilidad de los ecosistemas planetarios y locales pertinentes".

Conforme a lo anterior, la seguridad hídrica supone al mismo tiempo avanzar en ofrecer **acceso equitativo** (en calidad y cantidad) a servicios hídricos esenciales, y en garantizar la **sostenibilidad** de esos servicios y su **resiliencia** frente a múltiples amenazas que puedan afectarlos. Fallar en cualquiera de estas dos dimensiones configura una situación de **inseguridad hídrica** para el territorio que se hace más marcada cuando se presentan brechas en ambas condiciones al mismo tiempo (Figura 1).

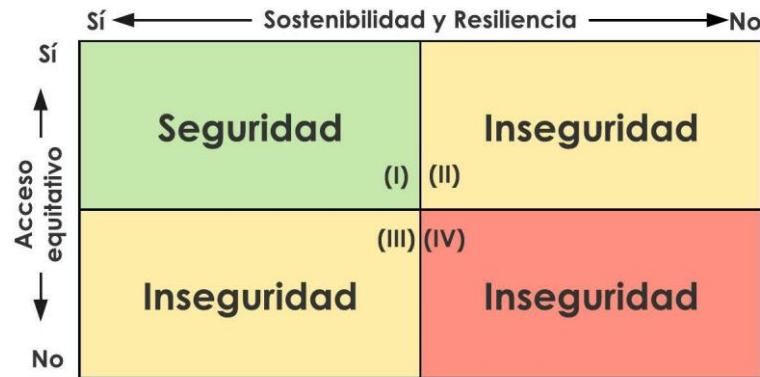


Figura 1. Relaciones conceptuales entre seguridad, inseguridad, acceso equitativo, sostenibilidad y resiliencia. Fuente: Urquiza y Billi (2020).

Para los fines de este documento, se profundizará especialmente en la dimensión del **riesgo** hídrico, con particular atención al riesgo asociado a los servicios hídricos de carácter 'doméstico'. Sin embargo, también se ofrecerá una introducción preliminar respecto de cómo examinar la dimensión de brechas en este tipo de servicios hídricos.

2.2 TERRITORIOS

Desde las ciencias sociales, el **territorio** se puede entender como las "condensaciones potenciales de sentido que perduran en el tiempo, [que] permiten activar en cualquier momento, las formas como conexiones comprensibles sobre nuestra existencia" (Urquieta et al., 2017:148). Por su parte, Delaney (2005) esquematiza el concepto y señala que, en su forma más básica, se refiere a un espacio, un límite, un significado y un contexto que surgen como resultado de procesos de territorialización (contingente) que dependen a su vez de procesos sociales (Delaney, 2005). De este modo, el territorio se puede leer como una **construcción significativa producida en la comunicación** que define un sistema observado trazando sus límites y bordes, operando a partir de oposiciones, distancias e influencias en un tiempo-espacio delimitado. Además, se puede constituir una unidad de orden mayor, delimitada espacialmente por las interacciones recurrentes que permiten la emergencia de un dominio común de coordinaciones sociales, considerando un entramado de relaciones entre grupos humanos, tecnología, infraestructura y sus entornos ecológicos (Amigo, 2019).

Considerando lo anterior, este informe entenderá la construcción del territorio como el resultado del punto de vista de un observador, en el cual interactúan diversas racionalidades, entre ellas la política, económica, jurídica, científica; además de ser observable desde limitaciones socio-ecológicas y/o socio-técnicas. Así, en términos de la (in)seguridad hídrica, el territorio corresponde a una unidad de análisis espacialmente delimitada, constituida por el acoplamiento dinámico entre procesos y dinámicas de tipo ecosistémico (recursos naturales, servicios ecosistémicos de regulación, culturales y de soporte) técnico (extracción, transformación, distribución y aprovechamiento de agua, etc.) y socioculturales (hábitos, preferencias, normas sociales, estructuras organizacionales, gobernanza) (Urquiza & Billi, 2020). Como se discutirá a continuación, estos procesos y elementos condicionan la satisfacción de una multiplicidad de usos y demandas, ligados tanto a la salud y bienestar humano, como al desarrollo productivo y a la conservación ecológica.

A la vez, estos procesos y elementos operan en múltiples escalas espaciales (local, regional, global, etc.) y temporales, demandando arreglos de **gobernanza** capaces de articular y coordinar la acción en estos múltiples niveles. En particular, en la base de la literatura, se reconoce la **cuenca hidrográfica como ámbito privilegiado** tanto para el análisis como para la gobernanza de la seguridad hídrica, ya que permite relevar las dinámicas hidrológicas y ecológicas subyacentes al suministro de servicios hídricos. En particular, es importante distinguir si el análisis se va a ejecutar en un entorno rural, más dependientes a los ciclos propios de cada cuenca hidrográfica, o urbano, donde existe mayor posibilidad de transferir agua desde otras regiones, requiriendo por lo tanto una escala de análisis más amplia.

2.3 SERVICIOS HÍDRICOS

Un **servicio** corresponde a la combinación entre un recurso (el que puede ser de distintas variedades, formatos y/o formas de distribución) y el (o los) eventual(es) artefacto(s) tecnológico(s) que permiten emplearlo para satisfacer una determinada necesidad.

Los **servicios hídricos** son de variada naturaleza, incluyendo usos productivos, usos de interés público (ej. riego de parques), usos ecosistémicos, disposición de desechos, control de incendios, usos culturales, recreativos y usos domésticos (Bohoslavsky & Justo, 2011; Franco-Torres et al., 2021; Urquiza & Billi, 2020). Diferentes tipos de servicios hídricos suponen diferentes procesos y condicionantes, por lo cual, la evaluación de los riesgos a ellos asociados requiere el diseño de **análisis, estándares e indicadores pertinentes** para cada tipo de servicio relevante (Roozbahani et al., 2013). En las secciones sucesivas del presente documento de trabajo, se ahondará de manera predominante sobre servicios hídricos que están vinculados con la esfera **doméstica**, debido a consideraciones de carácter tanto pragmático (son más fáciles de abordar en el corto plazo a partir de la información disponible) como normativo (pueden evaluarse de manera más directa en relación con la

salud, bienestar y/o derechos fundamentales de la población (Kayser et al., 2013). Sin embargo, las definiciones y lineamientos propuestos pueden fácilmente extenderse y adaptarse para considerar una mayor variedad de servicios y riesgos que los pueden afectar, incluyendo aquellos de carácter ecosistémico.

Es relevante además considerar que no todos los servicios tienen la misma relevancia en todos los territorios, pudiéndose distinguir servicios de corte más 'universal' (relevantes y aplicables en todo territorio) y otros de naturaleza más 'particular' (significativos solo en determinados contextos territoriales). Considerando estos planteamientos, en la sección 3.1 se detallan de manera específica los servicios hídricos básicos y fundamentales asociados al agua potable que satisfacen necesidades de orden doméstico en el ámbito urbano

2.4 BRECHAS HÍDRICAS

Las dificultades que enfrentan los hogares y personas que habitan un territorio para satisfacer sus necesidades hídricas, tanto básicas como fundamentales, las entenderemos como brechas de acceso o equidad hídrica. Su valoración requiere identificar, por un lado, la **existencia de umbrales de acceso** que determinen y/o restrinjan la capacidad de los hogares de satisfacer sus necesidades, y por otro, **los servicios** que realmente se proveen o consumen en un territorio cumplan con **estándares de calidad y cantidad** (Mehran et al., 1955; Sadoff et al., 2015; Urquiza & Billi, 2020) (véase Figura 2).

En términos de los **umbrales de acceso**, identificamos los siguientes (4):

1. **Umbrales por Restricciones físicas**, referidas a las condiciones que limitan la capacidad de los hogares y personas en acceder de manera efectiva y continua a las fuentes hídricas necesarias para satisfacer sus necesidades, como la lejanía a cuerpos de agua, profundidad de los acuíferos, aislamiento geográfico, entre otros.
2. **Umbrales por Determinantes tecnológicas y de infraestructura**, que se refieren, por un lado, a la disponibilidad de artefactos que permitan aprovechar de manera efectiva y eficiente los recursos hídricos (grifos, lavamanos, duchas, inodoros, lavaplatos, entre otras) y por el otro, a la infraestructura que permite el acceso a dichos recursos (existencia de plantas de potabilización de agua, cobertura a la red de evacuación de aguas servidas, entre otras)
3. **Umbrales por Limitantes jurídicas** que impactan sobre la satisfacción de necesidades hídricas, como normas de restricción del uso del agua como resultado de condiciones declaradas de sequía (Gutiérrez-Ojeda & Escolero-Fuentes, 2020) como también, las relacionadas a la propiedad de derechos de aprovechamiento del agua, que limita a

los usuarios que no tienen el derecho de propiedad a no tener asegurado el acceso al recurso (Hidalgo et al., 2017)

4. **Umbrales por Limitantes económicas** vinculadas al ingreso económico disponible de cada hogar, que permitan satisfacer el servicio hídrico, considerando el tamaño del hogar y su eficiencia hídrica, como también a las tarifas hídricas vigentes.

En cuanto a los estándares de calidad y cantidad, se identifican (4) criterios para su evaluación:

1. **Criterios de adecuación** en términos del servicio empleado, tipo de suministro y las condiciones adecuadas para su uso. Estos se definen para cada territorio analizado, incluyendo sus particularidades, climáticas, geomorfológicas, económicas, productivas, sociodemográficas, entre otros.
2. **Criterios de confiabilidad** que hacen referencia a la continuidad y calidad del acceso al servicio hídrico que condiciona el cumplimiento de su función.
3. **Criterios de seguridad** donde el uso de agua no genere impactos directos o indirectos a la salud o bienestar de las personas, referido a la inocuidad del servicio hídrico y la protección contra accidentes asociados a su uso.
4. **Criterios perceptuales**, en función a las expectativas que tiene la población en torno al consumo y uso del agua potable como también del estado de las fuentes hídricas que otorgan el servicio.

Brechas hídricas							
Umbrales de acceso				Estándares de calidad y cantidad			
Restricciones físicas	Determinantes tecnológicos y de infraestructura	Limitantes jurídicas	Limitantes económicas	Criterios de adecuación	Criterios de confiabilidad	Criterios de seguridad	Criterios perceptuales
Geografía	Infraestructura	Restricciones de uso de DAA	Asequibilidad	Suministro - condiciones adecuadas para los usos	Frecuencia de suministro y cumplimiento de condiciones de uso	Nocividad / Peligrosidad	Expectativas de consumo, uso de agua y fuentes hídricas

Figura 2. Brechas hídricas en términos de los estándares de acceso equitativo y de calidad y cantidad de los servicios hídricos. Fuente: Urquiza y Billi (2020).

2.5 VULNERABILIDAD Y RIESGOS HÍDRICOS

Al hablar de riesgos, se adopta la conceptualización propuesta por el IPCC(2014a) que lo define como las eventuales consecuencias de situaciones o tendencias, donde algo de valor se encuentra en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la existencia de una diversidad de valores (representados en este contexto como los Servicios hídricos, sección 2.3). El riesgo es representado, generalmente, como la probabilidad de ocurrencia de fenómenos o tendencias peligrosas, multiplicadas por los impactos en caso de que tales fenómenos o tendencias ocurran. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro.

En concordancia con los lineamientos presentados en el apartado 2.1, se considera que un territorio presenta riesgo de inseguridad hídrica (riesgo hídrico), cuando no es capaz de garantizar la sostenibilidad y resiliencia de los servicios hídricos que ofrece frente a posibles amenazas, no ofrece un acceso equitativo a estos servicios, o carece de ambas características (Figura 1). Esta condición de riesgo estará determinada tanto por el grado de exposición a amenazas como por las condiciones de vulnerabilidad propias de los sistemas (ecosistemas, sistemas técnicos de suministro y sistemas culturales) involucrados en la provisión de servicios hídricos (CR2, 2018).

El concepto de vulnerabilidad se ha comprendido como la falta de acceso a servicios o condiciones de vida mínimos, o dicho de otro modo, como una categoría que puede reemplazar o complementar el concepto de pobreza (Pizarro, 2001). Sin embargo, en este análisis y siguiendo el trabajo realizado sobre la Vulnerabilidad Energética Territorial (RedPE, 2020), utilizamos la conceptualización del quinto informe de evaluación del IPCC, donde se define la vulnerabilidad como la propensión de un sistema específico o territorial, a sufrir impactos negativos generados a partir de una amenaza (CR2, 2018; IPCC, 2014a, 2019).

Bajo esta perspectiva, el riesgo es un concepto multifactorial que corresponde a la probabilidad de que algo de valor para la sociedad se encuentre expuesto a una amenaza con un desenlace incierto, debido a las condiciones particulares de vulnerabilidad del propio sistema (CR2, 2018; IPCC, 2014b, 2019; ver figura 3).

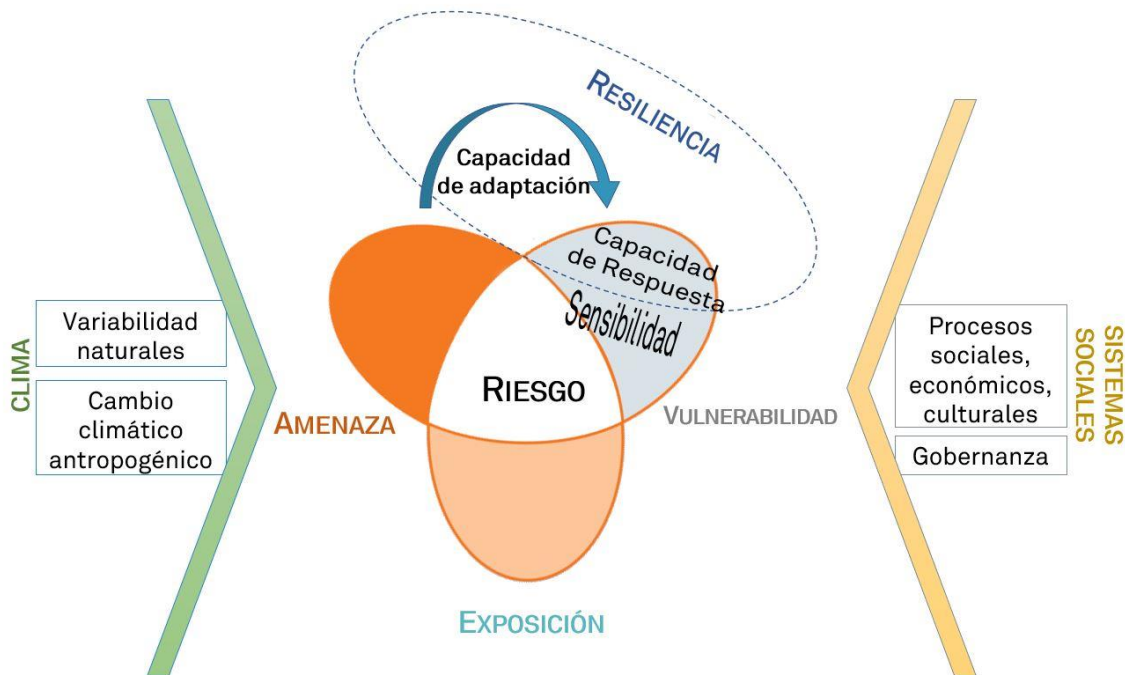


Figura 3. Marco conceptual del riesgo. Fuente: CR2 (2018) en base a IPCC (2014b).

Bajo este marco, la vulnerabilidad hídrica territorial es definida por las características particulares de un territorio, que determinan su propensión a no satisfacer sus necesidades hídricas frente a las amenazas que se encuentra expuesto.

A su vez, esta vulnerabilidad está condicionada por dos factores: por un lado, la sensibilidad, que se refiere a las condiciones ambientales, sociodemográficas, de infraestructura y tecnologías, recursos económicos, culturales y de conocimiento de un territorio en relación a los servicios hídricos que determinan la magnitud del efecto de la amenaza sobre los distintos componentes del sistema (RedPE, 2020). Por el otro, la capacidad de respuesta del territorio, es decir, la capacidad de los distintos sistemas ecológicos, técnicos y socioculturales que comprenden el territorio de poner en acto respuestas que mitiguen los impactos (CR2, 2018; Cumming, 2011). Por otro lado, en CR2 (2018) se destaca la importancia de incluir en el análisis también la capacidad de adaptación que poseen los sistemas, la cual refiere a la capacidad que tienen “los sistemas de reflexionar y llevar a cabo acciones ‘adaptativas’ frente a los cambios que podrían afectarlos en el futuro” (CR2, 2018). La adaptación puede manifestarse en todas las dimensiones del riesgo,

reduciendo la vulnerabilidad de un sistema, limitando su exposición, o incluso, reduciendo directamente la amenaza por medio de esfuerzos de mitigación. En conjunto, la capacidad de respuesta y capacidad de adaptación comprenden lo que denominamos como resiliencia.

2.6 RESILIENCIA

Tal como se ha mencionado anteriormente, la noción de vulnerabilidad está relacionada a la de **resiliencia**, entendiendo esta última como la capacidad de un sistema complejo para **anticipar, absorber, adaptarse y/o recuperarse de un suceso, tendencia o perturbación peligrosa, asociada al cambio climático, manteniendo su función y organización, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, de aprendizaje y transformación**. De esa manera, la noción de resiliencia incorpora tanto la mantención de ciertos atributos y funciones, como la transformación del sistema para adaptarse a cambios en las condiciones de su entorno (Cumming, 2011; Folke, 2016; Gunderson & Holling, 2003).

Si bien los conceptos de vulnerabilidad y resiliencia se encuentren estrechamente relacionados, ellos no deben comprenderse como sinónimos ni como el uno opuesto del otro (Urquiza et al., 2021). Por un lado, mientras la **vulnerabilidad** tiende a poner el foco en la predisposición de un sistema territorial o grupo de población a sufrir impactos de una fuente de amenaza específica que enfrenta, la **resiliencia** se entiende como una característica intrínseca del sistema, que le permite mantener sus funciones frente a múltiples amenazas. Por otro lado, mientras la vulnerabilidad tiende a decir relación únicamente con la mantención de las condiciones del sistema frente a amenazas en curso o previsibles, la resiliencia incluye también la capacidad del mismo de auto transformarse y adaptarse progresivamente a los cambios que observa en su entorno.

Basado en el trabajo de sistematización de literatura realizado por el CR2 (2018), se identifican tres características asociadas a los sistemas resilientes: flexibilidad, memoria y autotransformación (Biggs et al., 2012; CR2, 2018). Así, comprendemos que un sistema es resiliente cuando puede reaccionar adecuadamente y reestablecer la provisión de sus servicios luego de una amenaza (**flexibilidad**), generar información y aprendizaje sobre su relación con el entorno, considerando la reacción de sus propias estructuras frente a las amenazas (**memoria**); y adaptar y/o transformar sus estructuras y componentes para mantener sus servicios en el tiempo (**autotransformación**), de manera reactiva o planificada en función de ciertos objetivos. En la literatura (Ver Figura 4), la **Flexibilidad** está relacionada al menos con tres características: la diversidad, conectividad y redundancia de sus componentes y estructuras (Binder et al., 2017; Molyneaux et al., 2016; Smith & Stirling, 2008). La **memoria**, por su parte, se relaciona con la capacidad de generar información de las operaciones del sistema y de su relación con el entorno, y con la capacidad de producir aprendizaje a partir de esta información (Berkes, F., Colding, J. & Folke, 2003; Folke et al., 2005; Nykvist, 2014). Por último, la **autotransformación** se refiere al grado en que la

coordinación de los componentes del sistema, su capacidad de anticipación y la toma de decisiones, le permiten a un sistema ecológico, social o de procesos técnicos, adaptarse a una amenaza y gestionar los riesgos al que se ve enfrentado (Olsson et al., 2004; Urquiza Gómez & Cadenas, 2015). Esta cualidad del sistema puede estar orientada a adaptar las estructuras actuales en el tiempo (gobernanza adaptativa) o transformar estas estructuras hacia nuevos puntos de equilibrio (gobernanza transformativa) (Biggs et al., 2015; CR2, 2018).

Otro elemento a considerar, es que el estado del conjunto de las características recién definidas se construye históricamente y condiciona la capacidad de respuesta y adaptación del sistema (RedPE, 2020). De esta forma, a mayor flexibilidad, aprendizaje y auto-transformación, un sistema puede de mejor manera enfrentar las amenazas y gestionar los riesgos que experimenta. En particular, la flexibilidad es especialmente importante para promover capacidad de respuesta frente a amenazas que ya estén ocurriendo; la auto-transformación impulsa la capacidad de adaptación frente a posibles amenazas futuras; mientras que la memoria dice relación tanto con capacidad de respuesta (en la medida en que caracteriza el grado en que el sistema aprendió de amenazas pasadas y está por lo tanto más preparados frente las presentes) como con capacidad de adaptación (en tanto incluye la capacidad del sistema de seguir aprendiendo para estar más preparado en el futuro).

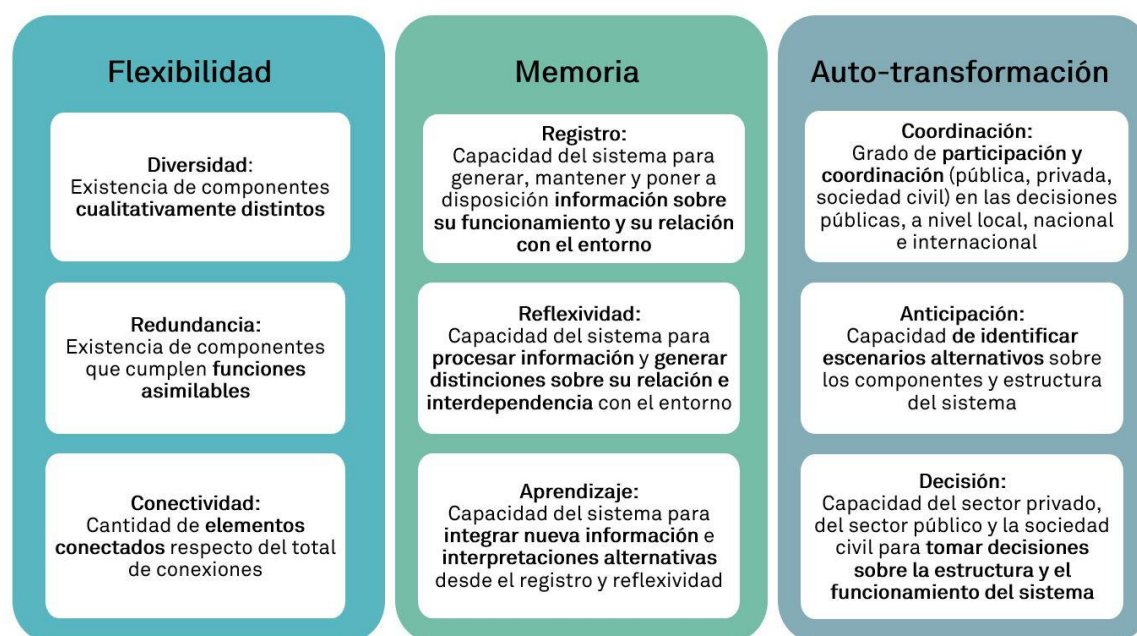


Figura 4. Dimensiones de la resiliencia. Fuente: Elaboración propia en base a RedPE, 2020.

3. MARCO METODOLÓGICO PARA CARACTERIZAR LA VULNERABILIDAD HÍDRICA TERRITORIAL

Basado en lo planteado en los ítems anteriores, a continuación se presenta una propuesta metodológica de 7 etapas que permiten evaluar la vulnerabilidad hídrica territorial, siguiendo el trabajo realizado en IPCC AR5 y el Marco de Vulnerabilidad CR2 (CR2, 2018; GIZ, 2017; IPCC, 2014a; RedPE, 2020; ver Figura 5):

1. **Definición del servicio observado:** como primera etapa, se debe definir el servicio hídrico observado y su conceptualización.
2. **Caracterización del sistema observado, sus componentes e interrelaciones:** luego de definir el servicio, se deben distinguir los componentes que interactúan en los sistemas y procesos técnicos del agua del servicio observado, en conjunto con el entorno relevante de los sistemas socioculturales y ecológicos.
3. **Caracterización de amenazas y exposiciones del sistema:** se determinan las amenazas y los componentes del sistema que se encuentran expuestos en el caso de estudio, identificando los impactos directos e intermedios.

4. **Caracterización de la sensibilidad del sistema expuesto:** se definen los factores de sensibilidad del sistema observado, considerando las amenazas identificadas y las condiciones técnicas y socioculturales que afectan en la entrega del servicio hídrico.
5. **Caracterización de la resiliencia del sistema expuesto:** se definen los factores de resiliencia del sistema, en términos de flexibilidad, memoria y autotransformación del sistema, considerando amenaza(s) específica(s) del sistema.
6. **Descripción de la Vulnerabilidad Hídrica Territorial:** como resultado de la integración de indicadores de sensibilidad y resiliencia del sistema, se obtiene la vulnerabilidad hídrica del territorio observado, permitiendo la identificación de condiciones que podrían ser abordadas en la elaboración de estrategias específicas.
7. **Análisis del Riesgo a la Inseguridad Hídrica:** el resultado anterior, donde se obtiene la Vulnerabilidad Hídrica Territorial, se integra en conjunto con la observación de la amenaza y la exposición del sistema, permitiendo obtener la distribución del riesgo a la inseguridad hídrica.
8. **Interpretación multiescalar de los resultados:** Considerando la escala de la información obtenida para la evaluación de la etapa anterior, se pueden establecer distintas relaciones multiescalares de los indicadores de VHT que definen el riesgo a la inseguridad hídrica, permitiendo la elaboración de estrategias específicas y eficientes según la escala definida en la investigación.

Los pasos del 2 al 7 deben realizarse considerando una revisión de literatura científica y gris en torno al servicio hídrico, con el fin de identificar componentes clave y variables relevantes para evaluar la amenaza, exposición, sensibilidad y resiliencia de los mismos. Para sistematizar estos componentes y variables, se puede utilizar como método analítico-conceptual aquel planteado en GIZ (2017), que propone construir 'cadenas de impacto' que representan la interacción entre estos componentes y variables en generar riesgos para los servicios hídricos. Es importante tener en cuenta que las cadenas de impacto pueden considerar distintos riesgos a la vez, y explícitamente incluye la posibilidad de que impactos sobre ciertos sistemas o procesos (por ejemplo, sobre servicios ecosistémicos) se conviertan a su vez en fuente de amenaza para otros sistemas o procesos (por ejemplo, sobre actividades productivas, salud y bienestar humano etc.). Esto se conoce como impactos 'anidados' o 'en cadena'. Asimismo, cabe considerar que el proceso de construcción de una cadena de impacto considera dos momentos, eventualmente iterables entre sí: la construcción de una cadena de impacto 'teórica' (la cual resume todas las variables e interacciones relevantes tal como resultan de la literatura analizada) y la traducción de la misma en una cadena de impacto 'operativa' (en la cual cada variable se asocia a uno o más indicadores concretamente medibles). Para pasar de la cadena 'teórica' a la 'operativa' es

necesario cotejar las variables e interacciones sugeridas por la literatura con las fuentes de información concretamente medibles y la relevancia de cada variable o interacción en el contexto local. Sin embargo, esta traducción puede también llevar a identificar nuevas variables que no habían sido abordadas de manera exhaustiva en la literatura, pero que son relevantes para el sistema en estudio.

Coherente con ello, proponemos dos principios metodológicos que deben ser transversales en todo el proceso:

- Por un lado, la **pertinencia territorial** del estudio que se está realizando y por tanto, los límites y componentes que observamos para el desarrollo de cada una de las fases, y que a su vez, interactúan directa e indirectamente con componentes de otras escalas territoriales.
- Por otro lado, la generación de instancias de **retroalimentación** que permita refinar la búsqueda de indicadores y así, su pertinencia territorial, como también enriquecer el análisis mediante el conocimiento integrado de científicos-técnicos, tomadores de decisiones, organizaciones funcionales, entre otros actores locales relevantes.



***Figura 5.** Fases metodológicas para la caracterización de la Vulnerabilidad Hídrica Territorial. Fuente: Elaboración propia en base a RedPE, 2020.*

En base a la propuesta, y con fin de ejemplificación, a continuación se presenta el desarrollo de una cadena de impacto teórica (Figura 6) para la **evaluación del riesgo a la seguridad hídrica del servicio de agua potable urbana** ante la amenaza de sequía hidrológica, considerando **indicadores pertinentes a esta escala territorial**. Se propone que la operacionalización de los lineamientos metodológicos propuestos consideren una doble escala de análisis que permita evaluar, de forma simultánea, la **vulnerabilidad del sistema ecológico de la cuenca y la vulnerabilidad de los sistemas técnicos y socioculturales asociados**.

Para esto, en primera instancia se debe evaluar el riesgo de sequía hidrológica en la cuenca de interés, considerando el impacto de las amenazas del cambio climático asociadas a las variaciones de precipitaciones y temperaturas, entre otras variables, sobre los cuerpos de aguas continentales relevantes de la cuenca hidrográfica. Luego se deben considerar las condiciones de vulnerabilidad relevantes de la cuenca, considerando los principales factores de sensibilidad y resiliencia. La caracterización y análisis integrado de los distintos componentes descritos en la cadena de impacto permiten estimar la magnitud del riesgo a la sequía hidrológica en la cuenca.

A continuación, se debe proceder a evaluar el riesgo ante la inseguridad hídrica de la población considerando como amenaza climática el riesgo a sequía hidrológica en la cuenca calculado en la cadena anterior, además de otros componentes como la gestión hídrica y el uso intensivo (no sostenible) del recurso hídrico que afectan en el déficit de la cantidad y calidad a la que puede acceder la población. Cabe destacar que para las otras amenazas descritas también se pueden desarrollar respectivas cadenas de impacto u otro método para calcular la amenaza según se estime conveniente. Finalmente, el riesgo ante la inseguridad hídrica de la población, estará moderado por el impacto de estas amenazas sobre la población acorde a las características de vulnerabilidad propias del sistema expuesto y de los sistemas y procesos técnicos que permiten la satisfacción de sus necesidades.

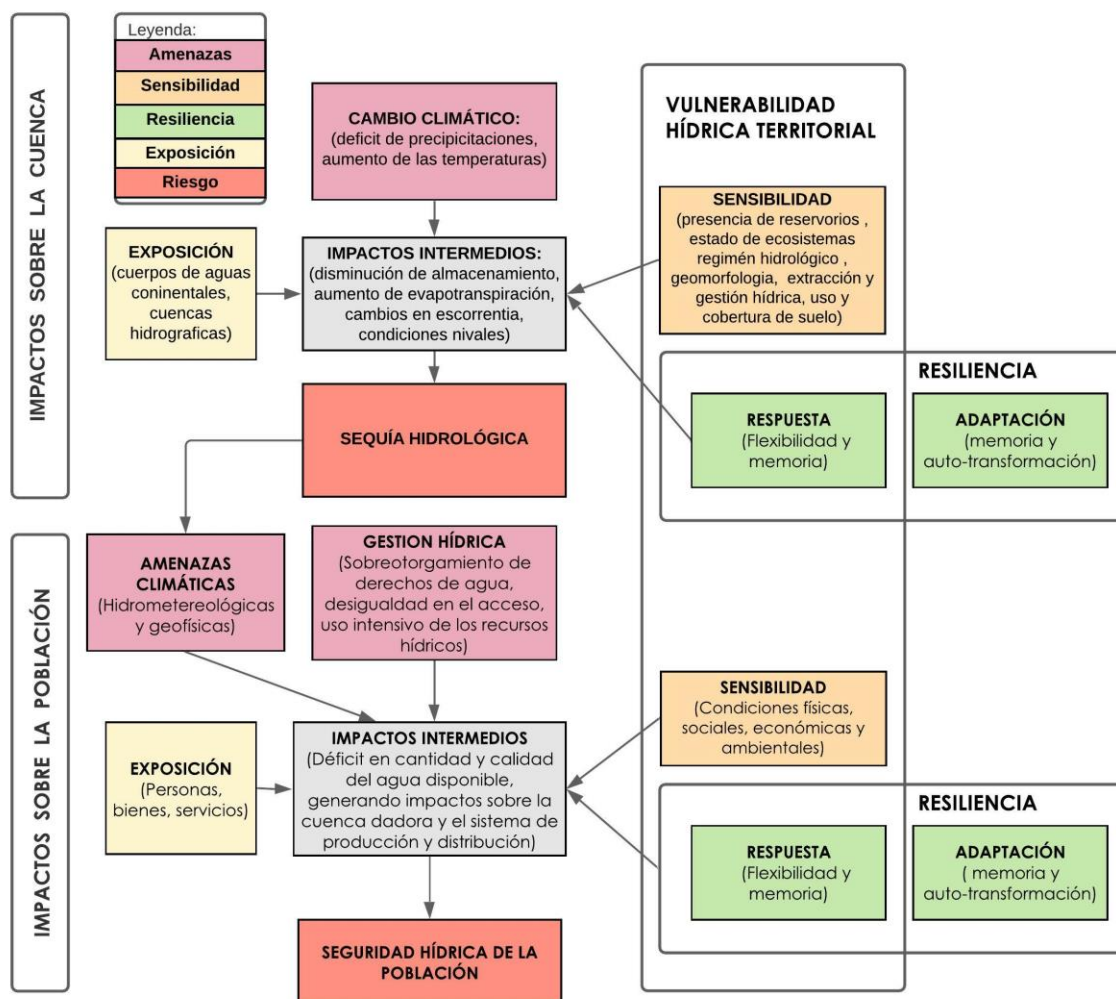


Figura 6. Cadena de impactos anidada que determina el riesgo de la seguridad hídrica de la población.
Fuente: Elaboración propia.

Bajo este marco, entendemos como **componentes de la vulnerabilidad hídrica territorial**, todas aquellas dimensiones e indicadores de sensibilidad y de la capacidad de respuesta de los sistemas ecológicos, técnicos y socioculturales identificados como relevantes en ambas cadenas de impacto, es decir, que actúan sobre la cuenca a nivel ambiental y directamente sobre los sistemas y procesos técnicos y la población, como se resume en la Figura 6.

3.1 NECESIDADES Y SERVICIOS HÍDRICOS DOMÉSTICOS:

En este documento nos centramos en las **necesidades hídricas domésticas**, que dicen relación estrecha con el derecho humano al agua, dado que su insatisfacción impacta

directamente en la salud, bienestar y/o derechos fundamentales de la población. Al respecto, se destacan en particular dos tipos de necesidades:

- **Fundamentales**, necesarias para garantizar la vida y la salud humana, y que por lo tanto deben garantizarse de manera universal en todos los territorios y comunidades, con especial énfasis en los grupos más vulnerables.
- **Básicas**, esenciales para el desarrollo humano y económico, pero cuya específica relevancia, configuración y formas de satisfacción dependen del contexto territorial.

Consideraciones análogas pueden hacerse respecto de servicios no dirigidos al consumo humano, tomando en cuenta la variedad de ecosistemas y de sus específicas demandas hídricas (tanto en calidad como en cantidad).

Dentro de las **necesidades fundamentales** (ver Figura 7) se pueden identificar cuatro categorías dentro de la literatura (Hussien et al., 2018; Matos et al., 2019; Williams, 2019), y el incumplimiento o insatisfacción de estas necesidades tiene **repercusión directa en la salud humana, principalmente con la sobrevivencia y la transmisión de diversas enfermedades** (WHO, 2018,2020b). La primera categoría, corresponde al **consumo de agua** de la población, que permite sostener procesos y funciones vitales de los seres humanos. La segunda, tiene relación con la **higiene humana**, en términos de la **higiene personal**, como el lavado de manos, lavado de dientes, lavado corporal, y la **limpieza higiénica domiciliaria**, como el lavado de ropa y accesorios de cocina, limpieza de superficies, entre otras. Como tercera necesidad, existen las relacionadas a los **servicios sanitarios** (sanidad) vinculada a la descarga de inodoro y evacuación de aguas contaminadas de origen domiciliario. Finalmente, la cuarta necesidad hace referencia a la **preparación de alimentos**, relacionadas al lavado y cocción de alimentos.

Por otro lado, las **necesidades básicas** se deben definir en función de las **características ecológicas y socioculturales de cada territorio**. Dentro de estas, cobran relevancia el **riego de plantas de jardín** en zonas semiáridas y áridas, o en la **climatización de la vivienda** para quienes viven en territorios con temperaturas que superen el confort térmico. También se consideran necesidad básica la **limpieza estética del hogar y de los automóviles**, como también, la **agricultura de subsistencia** y de tipo **cultural**, para usos espirituales, costumbres y rituales, principalmente en sectores rurales (Espinosa-cristia et al., 2019; Parraguez-vergara et al., 2018).



Figura 7. Necesidades básicas y fundamentales de los servicios hídricos. Fuente: Elaboración propia en base a Urquiza y Billi (2020).

3.2 SISTEMAS Y PROCESOS TÉCNICOS DEL AGUA POTABLE Y SU INTERACCIÓN CON LOS SISTEMAS ECOLÓGICOS Y SOCIOCULTURALES

Para caracterizar el sistema relevante para el servicio de agua potable en áreas urbanas, utilizaremos la propuesta de Geels (2002, 2004, 2010) y de RedPE (2020), que pone especial énfasis en los sistemas sociotécnicos, definiendo los vínculos entre los distintos componentes que condicionan la tecnología e infraestructura utilizada para ciertas funciones sociales. Entre los elementos que componen estos sistemas, se encuentran los artefactos, conocimientos, el capital económico, recursos humanos, significados culturales, entre otros (Geels, 2004). Estos vínculos o interacciones, ocurren en la producción, distribución, comercialización y el uso de la tecnología y los recursos hídricos; y definen regímenes socio-técnicos, es decir, modos dominantes del uso del recurso hídrico que condicionan las tecnologías, regulaciones, modos de uso, entre otros factores Geels (2002, 2004, 2010)).

En base a lo anterior, y en un intento por distinguir los componentes relevantes para el servicio de agua potable, identificamos 5 componentes que interactúan en los sistemas y procesos técnicos del agua, en conjunto con los sistemas socioculturales y ecológicos (Figura

8). Los actores que integran cada componente se caracterizaron a partir de la información contenida en documentos oficiales de la Mesa Nacional del Agua (MOP, 2020), Informe a las Naciones Gobernanza Climática de los Elementos (CR2, 2021) y el Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos (Banco Mundial, 2013)

En primer lugar, se encuentran los **actores reguladores**, encargados de aplicar instrumentos jurídicos (como normas y leyes) que configuran los parámetros deseados para cada tipo de decisión respecto al recurso hídrico, como también, diseñar e implementar políticas públicas que intervienen directamente sobre la infraestructura, tecnologías y usos del agua. Su lógica decisional se basa en una compleja relación entre lo político y lo técnico.

- En esta categoría se encuentran los instrumentos de planificación territorial que suponen la regulación y orden de los usos del suelo urbano y rural, con el objetivo de promover el bienestar humano y la salud de los ecosistemas (CR2, 2021). Para esta investigación, la importancia de estos instrumentos de planificación territorial radica en que habilitan sectores habitacionales que aumentan la demanda por agua potable. Para el caso del uso de suelo urbano, las competencias se encuentran en última instancia en el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, pero dependiendo de la escala del instrumento, son partícipes los Municipios, Gobernaciones Regionales y Consejos Regionales. Los instrumentos en esta escala urbana son los Planes Reguladores Seccionales, Comunales, Intercomunales y Metropolitano. En esta escala, las empresas sanitarias que tienen la concesión de la zona urbana, están obligadas a otorgar del servicio hídrico a todos los hogares que se encuentran dentro del área urbana.
- Para sectores rurales, la planificación es dispersa y busca limitar la urbanización sugiriendo usos compatibles, zonificando áreas de protección de recursos naturales (a cargo de CONAF) o estableciendo sitios prioritarios para la conservación (MMA), el patrimonio-cultural como Santuarios de la Naturaleza (MN) o Zonas y Centros de Interés Turístico (SERNATUR), el fomento a actividades productivas como concesiones mineras (SERNAGEOMIN) o mediante el cambio de uso de suelo (SAG). Bajo este disperso esquema, operan instrumentos indicativos como Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT), Estrategias Regionales de Desarrollo (ERD), Planes de Desarrollo Comunal (PLADECO), entre otros
- A su vez, se consideran las principales instituciones gubernamentales que son parte de la gestión del agua, como

- ❖ **Ministerio de Obras Públicas (MOP)**, a través de: Dirección General de Aguas (DGA), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), el Instituto Nacional de Hidráulica (INH) y Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Esta última tiene especial relevancia para escalas urbanas en términos de los servicios hídricos vinculados al agua potable, ya que es la institución estatal que regula y fiscaliza el servicio entregado por las empresas sanitarias en sectores urbanos, como también, regula las tarifas y niveles de inversión que necesitan las empresas para cumplir con brindar acceso de agua a la población de manera continua.

 - ❖ **Ministerio del Interior y Seguridad Pública (MINT)**, a través de: Los Gobiernos Regionales (GORE) y la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI). Este ministerio, además de brindar recursos para enfrentar amenazas hídricas como sequías o inundaciones, está facultado para regular o prohibir la extracción y/o uso del agua en ciertos cuerpos de agua que se encuentran en un estado crítico.

 - ❖ **Ministerio del Medio Ambiente (MMA)**, a través de: El Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), La Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Este ministerio, genera regulaciones que permiten mantener equilibrios ecosistémicos basado en indicadores ambientales del estado de los cuerpos hídricos.

 - ❖ **Ministerio de Salud (MINSAL)**, a través del Instituto de Salud Pública (ISP).

 - ❖ Para ver otras instituciones del Estado, ir a **Anexo 1**.
-
- Otros actores reguladores, pero **autónomos en su toma de decisiones**, son: Poder Judicial, Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), Tribunal de la Libre Competencia (TDLC), Conservador de Bienes Raíces (CBRs), Contraloría General de la República (CGR), Tribunales del Medio Ambiente y Municipios.

 - Existen también entidades reguladoras compuestas por propietarios del agua que participan en la gestión del recurso hídrico como Juntas de vigilancia (JdV), Asociación de Canalistas (ASCAN), Comunidades de Agua (COMAG). Estas comunidades se organizan de hecho o formalizadas, para

el uso de infraestructura común que permita el aprovechamiento del agua correspondiente a sus integrantes.

Luego, se encuentran **las empresas, municipios o asociaciones productoras y distribuidoras de agua para consumo humano y/o usos productivos**. Estas, cuentan con un conjunto de características propias, tales como recursos económicos, infraestructura hídrica y tecnología que velan por el acceso del recurso y bienestar de la población en torno a su consumo óptimo. En el caso chileno, para **sectores urbanos** corresponde a **empresas sanitarias**, las cuales otorgan el servicio con decisiones basadas en criterios económicos, y en el caso de **sectores rurales**, a **comités o cooperativas de agua potable rural (APRS)** que gestionan el agua en base a decisiones comunitarias en base a la sostenibilidad de sus modos de vida. Por otra parte, en casos de emergencias, los **municipios** abastecen de agua potable a sus comunidades mediante camiones aljibes, y así, satisfacer el consumo de su población. Cabe mencionar que, excepcionalmente, los municipios también pueden proveer de agua potable a sus habitantes, como es el caso de la empresa sanitaria de la comuna de Maipú, de la Región Metropolitana de Santiago.

El tercer componente identificado distingue a los **consumidores de agua potable**, quienes requieren servicios hídricos relacionados con el consumo directo, higiene, preparación de alimentos o el desarrollo de sus medios de vida. Entre ellos, se encuentran los hogares, pero también empresas productoras de bienes y servicios, servicios públicos, entre otros actores; lo que implica una diversidad de lógicas de decisión y distintos niveles de complejidad. Además, estos consumidores pueden ser al mismo tiempo productores de agua potable que producen cuando poseen las capacidades tecnológicas o recursos naturales requeridos (flecha (A) de la Figura 8). Ejemplo de esto, es la posibilidad de las empresas mineras de generar agua potable desalinizada para campamentos mineros. En esta categoría se puede distinguir a los hogares en sectores urbanos o rurales ya las unidades que necesiten de agua potable con fines de uso esencial y productivo e

Los consumidores, productores y reguladores y sus organizaciones, son los actores que interactúan en un primer nivel dentro del sistema técnico, y son quienes, en base a sus constantes interacciones, le dan forma a un entramado de estructuras y procesos específicos, que define modos de uso del agua potable, además de las regulaciones de su funcionamiento.

La interacción ocurre en y sobre el marco de los dos componentes que quedan por describir, que se expresan de forma particular en cada territorio: **la memoria** y **la infraestructura común**. La primera se refiere a la capacidad de un sistema territorial de aprender respecto de la relación con su entorno inmediato, considerando sus estructuras y procesos, y se expresa en la mantención en el tiempo a la disposición de conocimientos, información decisiones y experiencias históricas, a las cuales se puede recurrir en forma de

aprendizajes en distintos tipos de soportes (oral, escrito, archivo, entre otros). Para el caso de las prácticas vinculadas a la memoria del agua, se pueden mencionar técnicas de almacenamiento que realizan los hogares en épocas estivales o de mejoramiento de la calidad del agua de manera artesanal, así como su reutilización en sectores de escasez hídrica.

Finalmente, la **infraestructura común** corresponde a la tecnología de uso común necesaria para la generación, distribución y uso del agua potable. En sectores urbanos, dado que este sistema técnico ha sido concesionado desde 1993 a empresas sanitarias privadas, es común la existencia de infraestructura financiada total o parcialmente por el Estado y operada por el sector privado. En cambio, en sectores rurales, existe una diversidad de sistemas y procesos técnicos para hacer uso del agua potable, diferenciados por una parte por la fuente de abastecimiento (superficial o subterránea) y por otra, por los artefactos utilizados para su captación, tratamiento y distribución. Además, actualmente la escasez hídrica ha producido que, en algunas zonas rurales, se promueva el uso de infraestructura común mediante la creación de nuevas organizaciones de agua potable rural para coordinar la extracción y uso del agua.

Además, se deben considerar los elementos determinantes de los **sistemas socioculturales y ecológicos**, así como su interacción con los sistemas y procesos técnicos del agua potable, reconociéndose como cruciales para el funcionamiento de este último. Al hablar de los **sistemas socioculturales**, se consideran como relevantes el **sistema político**, donde las decisiones enmarcadas en él, impactan sobre las características de los organismos públicos y el mercado del agua; el **sistema jurídico**, que genera leyes y normativas, y sintetiza las reglas formales de diversos aspectos de los sistemas y técnicos; el **sistema científico**, que genera el conocimiento e integra la investigación científica y aplicada para el desarrollo de tecnologías relevantes en la producción y uso del agua potable; y el **sistema económico**, que condiciona la demanda y oferta de agua tanto a nivel macro como microeconómico.

Por otro lado, se distinguen los **sistemas ecológicos**, estos proveen **recursos naturales** necesarios para el funcionamiento del sistema técnico de agua potable y **servicios ecosistémicos** al aportar agua fresca siguiendo el ciclo hidrológico (Bernex, 2015), e incluso la satisfacción directa de algunos servicios hídricos relevantes para la población (véase flecha (B) de la Figura 8). Ahora bien, estos sistemas se han visto muy intervenidos por el cambio de uso de suelo y la expansión de plantaciones de rápido crecimiento, entre otros elementos que están directamente relacionados con una disminución de rendimiento hídrico (Bosch & Hewlett, 1982; Calder & Hall, 1992; Jackson et al., 2005) El VI documento técnico sobre Cambio Climático y Agua (Bates et al., 2008:74) resalta una menor disponibilidad de agua para bebida y saneamiento debido a los siguientes factores: "(a) *Disminución del caudal en cuencas alimentadas por glaciares en retracción, y mayor duración y frecuencia de estaciones secas, (b) disminución de las precipitaciones estivales, que conlleva un menor volumen de agua*

almacenada en reservorios alimentados por ríos estacionales (Du Plessis et al., 2003) (c) variabilidad interanual de la precipitación, y cambios estacionales del flujo fluvial, (d) disminución del nivel de las aguas subterráneas no costeras, (e) aumento de la evapotranspiración por efecto de una mayor temperatura del aire, de una mayor duración del período de crecimiento y de un mayor uso de agua de riego y (f) salinización”.

Del mismo modo se reconoce que los sistemas ecológicos tienen necesidades hídricas (flecha (C) de Figura 8), y que la creciente demanda por agua, tanto para consumo humano, como para usos productivos, tiene impactos negativos para la **biodiversidad** (Ali et al., 2019; Kuriqi et al., 2017). Uno de los principales ecosistemas afectados por la sobreexplotación del agua son los humedales, debido a su dependencia de niveles y estacionalidad del agua (Zedler & Kercher, 2005) A su vez, este es uno de los hábitats más amenazados a nivel mundial (Lambert, 2003) a pesar de su importancia para una gran cantidad de especies animales y vegetales, y como reservorios de agua para bebida, especialmente en zonas áridas y semiáridas (Flinn et al., 2008; Verones et al., 2013)

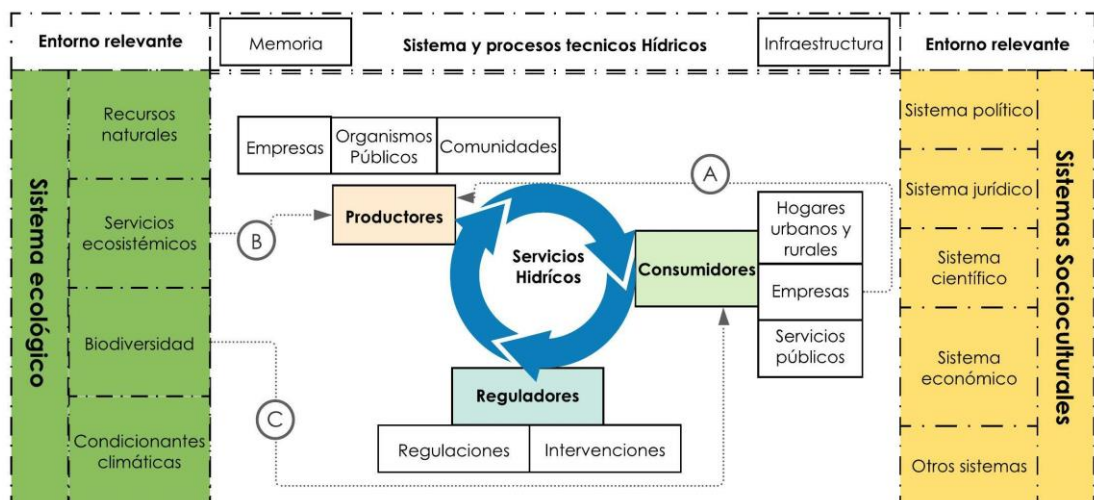


Figura 8. Interacción del sistema y procesos técnicos hídricos y el entorno relevante. Fuente: Elaboración propia basada en RedPE, 2020.

Las interacciones entre los componentes del sistema y procesos técnicos en torno al agua, poseen al menos 13 etapas de la cadena de suministro y producción de agua potable que generan los servicios hídricos, para el manejo del flujo de agua (captación, extracción, almacenamiento, conducción, protección, recarga, riego y control), como también, en su tratamiento (saneamiento, potabilización, depuración, desalación y reutilización). Sin embargo, existe un consenso en la identificación de las siguientes etapas:

1. **Captación:** correspondiente al primer tramo del sistema de producción de agua potable. Las fuentes de abastecimiento dependen de la disponibilidad del recurso en la zona respectiva, como también, de la calidad del agua cruda disponible y de la factibilidad técnica y económica de su explotación.
2. **Tratamiento:** corresponde al tratamiento que se realiza del agua para que cumpla con los estándares y parámetros establecidos para que el agua sea potable e inocua para el consumo humano. La presencia de elementos del agua del territorio, define el tipo de tecnología a utilizar para su mejoramiento.

Integrar estos procesos en el uso final del agua es de especial relevancia, ya que permite caracterizar las condiciones tecnológicas y socioculturales de los usuarios, permitiendo que la vulnerabilidad hídrica no se reduzca a un problema de acceso al suministro, sino que además incorpore aspectos sobre la calidad del agua potable y su tratamiento post consumo, en términos de adecuación, confiabilidad, seguridad y no contaminación (Figura 2).

3.3 AMENAZAS DEL SISTEMA OBSERVADO

En los debates sobre la seguridad hídrica, existe un amplio reconocimiento de que la **variación climática intensa es una amenaza que genera inseguridad hídrica en los territorios**, ya sea por sequías prolongadas o inundaciones por precipitaciones intensas, alterando la sostenibilidad de los sistemas territoriales. Sin embargo, en debates actuales de la seguridad hídrica (Farinosi et al., 2018; Muñoz et al., 2020; Xie & Ringler, 2017) se reconoce **que los modelos de desarrollo, objetivos asociados y mecanismos para obtenerlos, generan nuevas amenazas a la seguridad hídrica**. En este sentido, destacan factores socioculturales asociados al crecimiento de la población, la disparidad económica, una gobernanza débil y fallas institucionales (Damanian et al., 2019; Gain & Giupponi, 2015) que llevan a modelos de desarrollo que dependen y reproducen desigualdades en el acceso hídrico y la sobreexplotación de fuentes, así como de la elaboración de instrumentos de planificación territorial inapropiados e insuficientes (Budds, 2004, 2020). De esta forma, se comprende que un territorio se encuentra amenazado debido a las interacciones entre los sistemas ecológicos (y sus características biofísicas) y los sistemas técnicos y socioculturales (que determinan, por ejemplo, la gestión de los recursos hídricos), generando déficits en la disponibilidad en cantidad y calidad de agua a la que accede el sistema.

Ante la conceptualización descrita, las amenazas que pueden afectar los servicios hídricos, se pueden clasificar **según su origen (natural o antrópico) y/o según el sistema territorial impactado (ecológico, técnico y/o sociocultural)**. Dentro de las de **origen natural**, destacan eventos climáticos extremos, como erupciones volcánicas, terremotos, lluvias intensas, sequías prolongadas, vaciamiento de lagunas glaciares, incendios forestales, entre otros (Giupponi et al., 2015; Hoekstra, 2018). Aquellas de **carácter antrópico**, que

pueden **afectar la provisión de servicios hídricos en un territorio** por ejemplo, en una cuenca (sistema ecológico), destacan los cambios en el uso de suelo, contaminación de fuentes hídricas (superficiales y subterráneas por efluentes y desechos domiciliarios, industriales, mineros y agrícolas), y cambios morfológicos y ecológicos en sistemas hídricos por construcción de infraestructura (embalses, sistemas de extracción y conducción de agua, sistema de transferencia de agua entre cuencas, extracción de áridos, entre otros). También se considera la sobreexplotación de fuentes de agua, que responden en muchos casos a la existencia de sistemas de gobernanza que condicionan aumentos insostenibles de demanda por sectores productivos y al crecimiento demográfico o a deficientes instrumentos de planificación que no se adaptan a las nuevas necesidades de los asentamientos humanos (Barría et al., 2021; Chadwick et al., 2021; Muñoz et al., 2020) entre otros.

Por otro lado, **las amenazas pueden interactuar entre ellas** dados los **impactos** en los sistemas ecológicos, técnicos y/o socioculturales en un territorio, afectando de múltiples formas, la satisfacción de necesidades hídricas de la población a nivel doméstico (Figura 9). Para describir el impacto de estas interacciones, Urquiza y Billi (2020) proponen cuatro posibles formas de interacción en las que las amenazas afectan la provisión de servicios hídricos a escala doméstica:

1. En la medida en que, cambios en los regímenes y/o extremos hidroclimáticos puedan **alterar la oferta hídrica para producción de agua potable, existirá una amenaza** al suministro de servicios hídricos requeridos por la población, deviniendo en la implementación de nuevos tipos de infraestructura (ej.: sistema de almacenamiento de agua a nivel de cuenca o domicilio; sistemas de producción de agua potable protegidos contra aluviones) y un mayor uso de sistemas eficientes en el uso del agua. También cabe destacar el efecto de amenazas naturales y antrópicas sobre la calidad del servicio hídrico, mediante la contaminación del mismo (asociado a invasiones biológicas, presencia de agrotóxicos, metales pesados, entre otros)
2. Por otro lado, el sistema técnico **asociado a las etapas del flujo de agua** (captación, extracción, almacenamiento, conducción, protección, recarga, riego y control) se puede ver afectado, **como también, en su tratamiento** (saneamiento, potabilización, depuración, desalación y reutilización). Como ejemplo, los cambios en los regímenes de eventos extremos, como aluviones o terremotos, pueden afectar la eficiencia de los sistemas de producción y distribución de agua potable.
3. Además, pueden afectar a **procesos ecosistémicos** de los que depende tanto la **demand**a como la **provisión de servicios hídricos**. Por ejemplo, cambios en el clima (ej.: sequías y aumento de temperatura) o en el uso de suelo, pueden aumentar el riesgo de incendios forestales, produciendo, entre otras cosas, un cambio en la dinámica del ciclo hidrológico. Además, estas amenazas pueden inducir cambios en

los patrones de recarga de acuíferos (ej.: menor tasa de recarga) y caudales (ej.: alta variabilidad en los caudales mínimos y máximos) lo que tiene un efecto tanto en el acceso como en la cantidad y calidad del agua.

4. Por último, se debe a que **la provisión o el consumo no sostenible** de servicios hídricos, generan una **gradual degradación de los ecosistemas** de los que estos dependen, **generando nuevas amenazas**. Tanto esta como otras formas de retroalimentación deben ser consideradas

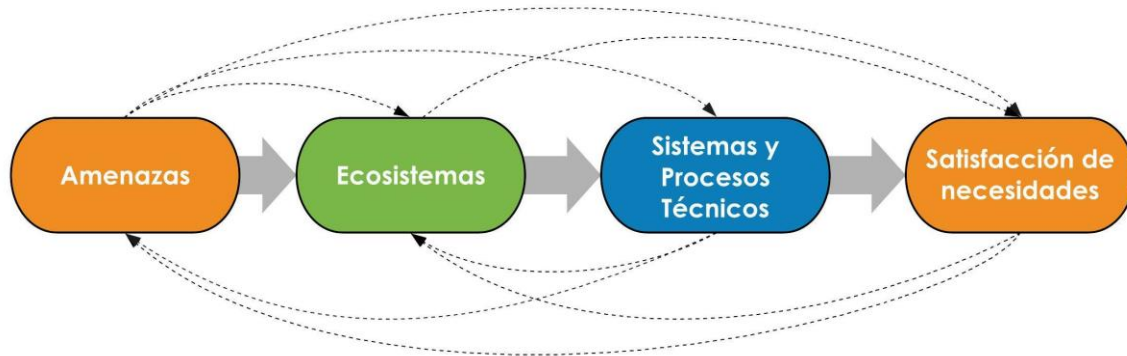


Figura 9. Interacciones entre amenazas, ecosistemas, sistemas técnicos de distribución y satisfacción de necesidades. Fuente: Elaboración propia en base a Urquiza y Billi (2020)

3.5 SENSIBILIDAD Y RESILIENCIA

Como se mencionó en los apartados 2.5 y 2.6, la vulnerabilidad puede descomponerse por la sensibilidad del sistema y su capacidad de respuesta y adaptación, las que, a su vez, son un componente determinante de su resiliencia.

Acorde a la metodología de cadena de impacto, se considera que la combinación de las condiciones de sensibilidad y resiliencia (figura 10), tiene **impactos intermedios en la cuenca dadora y en el sistema de distribución de los servicios hídricos**, en términos de disponibilidad, demanda, confiabilidad, seguridad, adecuación y contaminación de las fuentes y tecnologías utilizadas para los servicios hídricos de un territorio. Siguiendo con esta lógica, dada una amenaza, de origen climático u otro, la vulnerabilidad hídrica territorial permitirá comprender, y en algunos casos proyectar, cómo reaccionaría el sistema y los procesos técnicos del agua un territorio, visualizando los impactos intermedios ya mencionados y el riesgo que significa esto en el acceso a servicios hídricos.

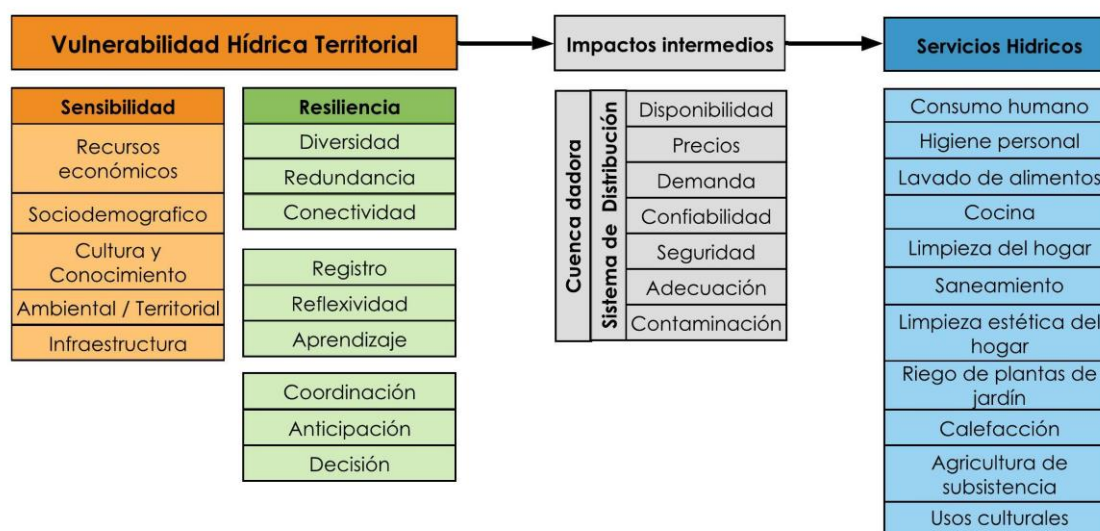


Figura 10. Resumen de las dimensiones e impactos de la Vulnerabilidad Hídrica Territorial. Fuente: Elaboración propia en base a Urquiza y Billi (2020) y RedPE., (2020).

Bajo este esquema, la **sensibilidad** se entiende como la **susceptibilidad del territorio o su población de ser afectada por la(s) amenaza(s)** a las que se encuentran expuestas. Los factores comúnmente asociados a esta dimensión, se incluyen **características de la población**, como la **presencia de grupos vulnerables** con necesidades altas o urgentes, **grupos tradicionalmente marginados y/o discriminados**, así como las **condiciones territoriales** que determinan el funcionamiento adecuado para acceder a un servicio de buena calidad (Amigo et al., 2020; Pérez-Fargallo et al., 2017; RedPE, 2019). Además, para el caso de la presente investigación, se incorporó una nueva categoría de análisis, relacionada a la sensibilidad de la **infraestructura de los sistemas y procesos técnicos asociados al agua** (Rogers et al., 2020). En este sentido, en **términos hídricos**, la **sensibilidad** estaría definida por:

- Presencia de **grupos vulnerables**, que pueden presentar necesidades particularmente agudas o urgentes de agua, como es el caso de personas de estados delicados de salud, personas mayores, niños y niñas, entre otros (Mertens et al., 2019; Randell & Gray, 2019).
- Presencia de personas que, sin poseer características de particular dependencia o urgencia respecto al uso de servicio, se encuentran **tradicionalmente marginados y/o discriminados** debido a su género, etnia, creencias, procedencia geográfica, entre otros (Huynh & Resurreccion, 2014; Hyland & Russ, 2019) o bien, no cuentan con capitales (socioeconómicos, educativos, culturales, sociales) para asegurar

autonomía y/o capacidades para responder frente a variaciones en la disponibilidad del servicio hídrico (Adams et al., 2019; Joshi, 2019)).

- **Condiciones territoriales**, asociadas a la preexistencia de situaciones de escasez hídrica, , sobreexplotación de las fuentes de agua, condicionantes ambientales de propensión a la sequía o inundaciones, desigualdad en acceso a servicios (ej: segregación urbana, existencia de asentamientos no planificados, cambios en el uso de suelo, impermeabilización, entre otros) (Ahmed et al., 2016; Jepson, 2014; Leeuwen et al., 2015; Opher et al., 2018; Susnik et al., 2012), o a la falta de autonomía de dichos servicios (ej: servicios críticos esenciales para la salud y/o bienestar de la población, como hospitales o escuelas, que requieren un constante suministro de agua, especialmente cuando no cuenten con reservas o mecanismos de respaldo).
- **Condiciones técnicas o de infraestructura**: asociadas a las precarias o inexistentes características del sistema y procesos técnicos hídricos, que no permiten el acceso al agua potable de buena calidad de manera continua (ej: cortes reiterados en la continuidad del servicio, precaria cobertura al acceso al agua potable, entre otros) (Kristvik et al., 2018; Robinson & Vahedifard, 2016; Rogers et al., 2020)

Por otro lado, la **resiliencia** es compleja de medir, tanto en la formulación de indicadores adecuados, como en la disponibilidad de datos para su operacionalización. Es más, la literatura tiene aproximaciones teóricas y metodológicas completamente distintas para acercarse a las condiciones de resiliencia de los sistemas ecológicos, socioculturales y de procesos técnicos (Urquiza et al., 2021; 2019)

En términos generales se considera que, un territorio con un mayor grado de **preparación** frente a amenazas, se caracteriza por contar con mayor resiliencia, además de mayor **planificación y disponibilidad de información territorial** en torno al funcionamiento de los sistemas de aprovisionamiento hídrico

Entre los componentes de la resiliencia de los sistemas y procesos técnicos que permiten mantener o recuperar rápidamente el nivel de suministro de servicios hídricos en caso de amenazas, se identifica la **redundancia y diversidad de fuentes de captación, producción y distribución** (Jensen & Wu, 2018) considerando el uso de fuentes subterráneas, superficiales, aguas reutilizadas, aguas lluvia, océano, entre otros; y la **presencia de infraestructura específica que asegure la continuidad y calidad de los servicios hídricos** (MOP, 2020; Cook et al., 2013; dos Santos & De Farias, 2017) incluyendo infraestructura gris (como embalses, desaladoras, de tratamiento de aguas residuales y obras de protección de inundaciones) y verde (como humedales, zonas de recarga de acuíferos, entre otras).

En este contexto, en este documento se hace una revisión de literatura científica y gris disponible, así como de la información y data disponible (o que debería existir según la normativa vigente) a nivel de las empresas sanitarias. Para de tal forma poder establecer una base de indicadores, que permitan la evaluación de la resiliencia de los sistemas y procesos técnicos del servicio de agua potable urbano. Esta propuesta se resume en el Box 1 y contempla 5 indicadores de flexibilidad, 5 de memoria y 4 de autotransformación. La utilización de este set de indicadores permite establecer marcos comunes con el cual se evalúa el sistema sanitario en distintos territorios, permitiendo su comparación. Para la evaluación profunda de un territorio en particular dichos indicadores deben ser complementados con indicadores de resiliencia propios de los sistemas socioculturales y ecológicos pertinentes al territorio en estudio en particular.

Finalmente, es esperable que un territorio que aspire a lograr la seguridad hídrica en todas sus dimensiones cuente con una gobernanza que permita tomar decisiones y llevar a cabo exitosamente iniciativas adaptativas frente a amenazas que puedan afectar el correcto desempeño de los sistemas hídricos.

3.6 VULNERABILIDAD Y RIESGO HÍDRICO TERRITORIAL

Considerando lo planteado en el apartado 3.5, podemos definir que la **vulnerabilidad hídrica territorial** en términos domésticos, es la predisposición de los diferentes servicios/usuarios de agua (para nuestro caso, hogares) presentes un territorio específico (de escala urbana/rural; límites naturales/administrativos), a ver afectadas las satisfacciones de sus necesidades hídricas debido a las amenazas a las que se encuentran expuestos. Bajo este enfoque, el **riesgo hídrico territorial** corresponde a la probabilidad de que los servicios hídricos domésticos se encuentren expuestos a una amenaza en particular, y por tanto, el desenlace de este evento, depende de las condiciones particulares de vulnerabilidad hídrica territorial.

Para evaluar la vulnerabilidad hídrica, se debe considerar los **distintos elementos e indicadores**, que componen las dimensiones de sensibilidad y capacidad de respuesta cuantificados en el territorio, **exigiendo un análisis multidimensional y multiescalar de la vulnerabilidad de alta complejidad**. Para simplificar este análisis y permitir una adecuada comparabilidad entre las características de la vulnerabilidad, se recomienda **elaborar índice e indicadores sintéticos** que permitan agregar distintos indicadores en un valor único para cada unidad de análisis, permitiendo a los tomadores de decisiones u otros actores, **evaluar y comparar de forma simplificada la vulnerabilidad y el riesgo** presente en los distintos territorios de interés. Para mayor información de formas de agregación y presentación de los componentes de la vulnerabilidad se recomienda revisar el libro de la GIZ (2017) *"El Libro de la Vulnerabilidad Concepto y lineamientos para la evaluación estandarizada de la vulnerabilidad"*

BOX 1:

➡ **INDICADORES DE RESILIENCIA HÍDRICA PARA EL SISTEMA SOCIOTÉCNICO URBANO, EL CASO DE LAS EMPRESAS SANITARIAS**

La metodología utilizada para generar una propuesta de indicadores específica para evaluar la resiliencia de las sanitarias como sistema socio técnico se basó en un análisis de literatura científica y gris. En cuanto a la literatura gris, se prestó atención a los documentos generados por las sanitarias y la superintendencia de servicios sanitarios que pudiesen entregar información acerca de las características que debe tener el servicio sanitario para hacer frente a las consecuencias de múltiples amenazas que pueden afectarlo. De acuerdo con esto la mayoría de los indicadores identificados provienen del “Plan estratégico nacional para la reducción del riesgo de desastres en el sector sanitario 2020-2030”, otros provienen de Fichas de antecedentes técnicos levantados en el marco del “Plan de Desarrollo: Sistema Gran Valparaíso” para el periodo 2010- 2025. y del sistema de facturación de la sanitaria ESVAL SA. Por otro lado, la revisión de literatura científica consistió en una búsqueda no sistemática de literatura en base a los indicadores identificados en los documentos señalados, con la finalidad de conocer el asidero que podrían tener en la literatura que analiza la resiliencia en los sistemas de agua potable en zonas urbanas.

Los indicadores identificados a través de este proceso fueron clasificados de acuerdo al marco de análisis de la resiliencia establecido en los apartados 2.6 y 3.5. Estas dimensiones corresponden a flexibilidad, incluyendo diversidad, redundancia y conectividad; memoria, incluyendo registro, reflexividad y aprendizaje; y auto transformación, incluyendo coordinación, anticipación y decisión. Un resumen de la propuesta de indicadores puede observarse en la siguiente Figura (B1.1):

Resiliencia						
Flexibilidad		Memoria			Autotransformación	
Diversidad	Redundancia	Registro	Reflexividad	Aprendizaje	Decisión	Anticipación
Heterogeneidad de las fuentes de captación	Volumen utilizado de puntos de captación y producción secundarios	Registro de eventos históricos	Planificación para el análisis de riesgos específicos	Plan de simulaciones y simulacros	Inversión y gastos en prevención y respuesta.	Sistema de modelación Amenaza-Impacto.
	Número y volumen disponible de fuentes de suministro de emergencia		Actividades de Investigación	Diagnóstico: vulnerabilidad de infraestructura crítica		Plan relacionado a meses con menor disponibilidad hídrica y/o shocks en la demanda.
	Autonomía del sistema de distribución					Plan de continuidad operacional
	Eficiencia del sistema de producción, distribución y consumo					

Figura 11. B1.1. Indicadores de resiliencia, según dimensiones de flexibilidad, memoria y auto transformación. Elaboración Propia en base a RedPE, 2020

Para medir la diversidad de la dimensión de flexibilidad se deben considerar indicadores que tomen en cuenta la heterogeneidad de los tipos de fuentes hídricas que abastecen la sanitaria. En este sentido, es relevante evaluar la disponibilidad de fuentes de captación hídricas y superficiales de la sanitaria, así como los ciclos de renovación de dichas fuentes, la disponibilidad de otras fuentes como agua desalinizada, importada, colectada de aguas lluvias y la dependencia de fuentes hídricas externas a la cuenca a la que pertenece la ciudad (Jensen & Wu, 2018). En una línea similar pero enfocados en su aporte a la resiliencia en la subdimensión de redundancia se identificó como indicadores relevantes a estimar la magnitud de fuentes de captación secundarias, medida como el volumen de agua utilizado que proviene de puntos de captación y producción secundarios, así como también el número de fuentes de emergencia y el volumen de agua que pueden aportar. De acuerdo con lo que pudo ser observado en la literatura aumentar la diversidad y redundancia de fuentes de agua permite asegurar una determinada oferta hídrica en momentos que distintos elementos del sistema se vean afectado por una amenaza, como la sequía hidrológica, (Escenarios hídricos 2030, 2019), de este modo manejar de forma integrada fuentes comunes y alternativas tiene la potencialidad de mantener la seguridad hídrica en momentos críticos (Silva et al., 2019). Otro indicador relevante en cuanto a la subdimensión de redundancia corresponde a la autonomía del sistema de distribución, lo cual depende de la capacidad de almacenamiento de los estanques para mantener el servicio ante un corte de suministro producto de un evento.

Como último indicador de redundancia se destaca la eficiencia del sistema de producción, distribución y consumo de agua, la medición de dicho indicador hace referencia a la brecha entre el volumen de agua captado y el volumen consumido, debido

a pérdidas en los procesos de producción y distribución. Los efectos del cambio climático tienen consecuencias sobre la disponibilidad de agua, por lo cual un manejo eficiente del recurso permite aumentar la autonomía y el rendimiento del sistema y por lo tanto su resiliencia (Eggimann et al., 2017). La eficiencia del sistema guarda relación con el nivel de explotación de las fuentes, a la vez que depende de políticas de control de la demanda (Sušnik et al., 2012).

Respecto a la memoria, en la subdimensión de registro se identificó como relevante el registro de eventos históricos de desastre en el sector sanitario (SISS, 2020). Mantener registro y recuperación de la memoria de eventos históricos relacionados a desastres que afecten el sector sanitario permite entregar recomendaciones para el manejo de eventos extremos futuros y de este modo contar con una base sobre la cual generar y mejorar planes de manejo de desastres (Khan et al., 2019).

Ligado a lo anterior en la subdimensión de reflexividad se identificó como indicador relevante la presencia o ausencia de planes para el análisis de riesgos específicos (SISS, 2020). La proliferación de planes frente a riesgos específicos adquiere importancia frente a los problemas en el manejo de recursos hídricos en zonas urbanas provocados por los efectos del cambio climático (Rodina, 2019). Ante esta situación, contar con la presencia de dichos planes es un factor que aumenta la resiliencia de los sistemas de agua potable en sectores urbanos ante amenazas como la sequía hidrológica, en comparación con sectores donde no existe planificación (Rushforth et al., 2020). Como último indicador de la subdimensión de reflexividad se menciona la generación de actividades de investigación que promuevan innovación y desarrollo en temáticas relacionadas a la gestión de riesgo de desastres en el sector sanitario (SISS, 2020).

En la subdimensión de aprendizaje se identifica la existencia de planes de simulación y simulacros, como un indicador relevante. Según la literatura (Mikovits et al., 2018) la simulación es esencial para enfrentar amenazas inesperadas ya que permite generar planes que logren anticipar los escenarios creados a partir de dichas amenazas, ante esto indica que la simulación de escenarios aumenta la resiliencia de los sectores urbanos en lo que respecta a la gestión del agua. Por otro lado, la realización de diagnósticos de la infraestructura también sería un indicador relevante para esta subdimensión. Realizar diagnósticos sobre el estado de la infraestructura que compone los sistemas de agua potable es de suma importancia para evitar fallas ante posibles amenazas. El sometimiento de infraestructura antigua y deteriorada ante el efecto de precipitaciones intensas producidas por el cambio climático puede tener efectos negativos sobre los sistemas de distribución de agua potable lo cual podría ser evitado a partir de la renovación de dicha infraestructura (Kristvik et al., 2019). Los sistemas de agua potable considerados como infraestructura crítica son fundamentales para la recuperación de la población ante desastres naturales (Quintana et al., 2020).

Finalmente, en la dimensión de autotransformación se identificó como indicador relevante en la subdimensión de anticipación, la existencia de sistemas de modelación de amenaza-impacto sobre escenarios posibles con la finalidad de generar información para la reducción de desastres. Acorde a la literatura científica (Liu et al., 2019) La generación de modelos de evaluación de riesgos en sistemas de agua potable entrega información para los tomadores de decisiones que sirve de base para la generación de planes de mitigación. Por otro lado, en el Plan Estratégico Nacional para la RRD en el sector sanitario 2020-2030 (SISS, 2020), se indica la inversión y gastos en prevención y respuesta, la existencia de un plan de continuidad operacional y el desarrollo de planes específicos de acción para los periodos de menor oferta hídrica como indicadores relevantes para aumentar la resiliencia de las empresas sanitarias, en cuanto a su capacidad de anticiparse y decidir sobre las amenazas que enfrentan. Los planes específicos para enfrentar periodos de sequía, se asocian con un aumento en la capacidad de almacenar agua (mediante embalses u otros) en períodos de mayor disponibilidad para satisfacer la demanda en periodos de escasez (Santos et al., 2017).

REFERENCIAS

- Eggimann, S., Mutzner, L., Wani, O., Schneider, M. Y., Spuhler, D., Moy de Vitry, M., ... Maurer, M. (2017). The Potential of Knowing More: A Review of Data-Driven Urban Water Management. *Environmental Science & Technology*, 51(5), 2538–2553. doi:10.1021/acs.est.6b04267
- Escenarios Hídricos 2030- EH2030. (2019). Transición Hídrica: El Futuro del Agua en Chile. Fundación Chile, Santiago, Chile.
- Jensen, O., & Wu, H. (2018). Urban water security indicators: Development and pilot. *Environmental Science and Policy*, 83(February), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.003>
- Khan, S. J., Deere, D., Leusch, F. D. L., Humpage, A., Jenkins, M., Cunliffe, D., ... Stanford, B. D. (2017). Lessons and guidance for the management of safe drinking water during extreme weather events. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 3(2), 262–277. doi:10.1039/c6ew00165c
- Kristvik, E., Muthanna, T. M., & Alfredsen, K. (2018). Assessment of future water availability under climate change, considering scenarios for population growth and ageing infrastructure. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2018096. doi:10.2166/wcc.2018.096
- Liu, B., Jeanne Huang, J., McBean, E., & Li, Y. (2019). Risk Assessment of Hybrid Rain Harvesting System and Other Small Drinking Water Supply Systems by Game Theory and Fuzzy Logic Modeling. *Science of The Total Environment*, 134436. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134436
- Mikovits, C., Rauch, W., & Kleidorfer, M. (2018). Importance of scenario analysis in urban development for urban water infrastructure planning and management. *Computers,*

- Environment and Urban Systems, 68, 9–16. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2017.09.006
- Quitana, G., Molinos-Senante, M., & Chamorro, A. (2020). Resilience of critical infrastructure to natural hazards: A review focused on drinking water systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101575. doi:10.1016/j.ijdr.2020.101575
- Rodina, L. (2019). Planning for water resilience: Competing agendas among Cape Town's planners and water managers. *Environmental Science & Policy*, 99, 10–16. doi:10.1016/j.envsci.2019.05.016
- Rushforth, R. R., Messerschmidt, M., & Ruddell, B. L. (2020). A Systems Approach to Municipal Water Portfolio Security: A Case Study of the Phoenix Metropolitan Area. *Water*, 12(6), 1663. doi:10.3390/w12061663
- Santos, S. M. dos, & de Farias, M. M. W. E. C. (2017). Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1007–1015. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.251
- Silva, Samiria Maria Oliveira, Souza Filho, Francisco de Assis, Cid, Daniel Antônio Camelo, Aquino, Sandra Helena Silva de, & Xavier, Louise Caroline Peixoto. (2019). Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza.
- Superintendencia de servicios sanitarios. (2020). Plan estratégico nacional para la reducción del riesgo de desastre en el sector sanitario 2020-2030.
- Sušnik, J., Vamvakieridou-Lyroudia, L. S., Savić, D. A., & Kapelan, Z. (2012). Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. *Science of The Total Environment*, 440, 290–306. doi:10.1016/j.scitotenv.2012.05.085

BOX 2:

➡ **APLICACIÓN DEL MARCO DE VHT A LA SEGURIDAD HÍDRICA DOMÉSTICA EN SECTORES URBANOS: UN ANÁLISIS DEL GRAN VALPARAÍSO**

En los últimos años, en sectores urbanos se han identificado diversas amenazas que afectan la continuidad operativa de la producción del agua potable y por ende, el suministro a la población. Entre ellas, se pueden señalar la sequía, casos de aumento de turbidez (SISS, 2017), afectaciones al suministro producto por incendios forestales, precipitaciones líquidas en la alta cordillera (aumento isoterma 0°) que produjeron crecidas en el caudal con alta concentración de material sólido, e incluso, el aumento de precipitaciones intensas que generaron inundaciones de las plantas de tratamiento de agua potable (SISS, 2018).

Bajo este escenario, este box tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad hídrica de la población del Área Metropolitana de Valparaíso (AMV), a una alta resolución, mediante la identificación y procesamiento de los factores de sensibilidad y resiliencia de los sistemas de captación, producción y distribución del sistema técnico de la empresa sanitaria ESVAL y de la población que interactúan en el área de estudio. Así, desarrollamos un ejercicio que puede ser aplicado a otros sistemas urbanos de agua (potable) del país reconociendo sus particularidades territoriales, lo que permitiría localizar esfuerzos específicos para contrarrestar los riesgos hídricos presentes y futuros.

Para operacionalizar los indicadores considerados relevantes en la cadena de impacto (figura B2.2) se utilizaron **distintas fuentes de información** que trabajan con datos a nivel subcomunal, como encuestas de hogares, datos administrativos, informes de proyectos desarrollados en la zona y requerimientos de información hechos por la SISS a la sanitaria ESVAL. Luego, para evaluar la seguridad hídrica en el Gran Valparaíso se construyeron índices de sensibilidad, resiliencia y vulnerabilidad de la población mediante la agregación de los indicadores evaluados en cada dimensión, utilizando la metodología de *lógica difusa* (Para más detalles, revisar la descripción metodológica en Urquiza et al., 2020 y Amigo et al., 2020). La vulnerabilidad se construyó a partir de los índices de sensibilidad y capacidad de respuesta, acorde a las siguientes reglas de agregación:

- Una manzana censal presenta una **vulnerabilidad alta** cuando la sensibilidad es alta y la capacidad de respuesta no lo es o cuando la sensibilidad es media y la capacidad de resiliencia es baja
- Una manzana censal presenta una **vulnerabilidad media** cuando la sensibilidad es media y la capacidad de respuesta es media o alta o cuando la sensibilidad es alta y la capacidad de respuesta es alta.
- Una manzana censal presenta una **vulnerabilidad baja** cuando la sensibilidad es baja

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y SU SISTEMA TÉCNICO

El Gran Valparaíso (33°03'S 71°37'W), es un Área Metropolitana ubicada en la Región de Valparaíso, Chile. Es el principal asentamiento urbano de la región e integra las comunas de Quilpué, Villa Alemana, Valparaíso, Viña del Mar y Concón, siendo estas tres últimas comunas, las que cuentan con borde costero. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas cuenta con 951.150 habitantes, representando el 6% del país, distribuidos en una superficie de 402 km² (Corporación Ciudades, s.f.).

La fuente principal para el sector metropolitano del Gran Valparaíso, El Río Aconcagua, ha experimentado déficits hídricos al igual que otros ríos principales de la región, como Petorca o La Ligua. Particularmente, el Río Aconcagua presenta un régimen hídrico nivoso franco de escurrimiento torrencial (Niemeyer, 1982), los cuales se caracterizan por poseer fluctuaciones de caudal considerable durante el año, con caudales máximos en la estación cálida, debido a la alimentación nival (principalmente). Sin embargo, en la última década ha presentado una disminución alarmante en su caudal, registrando un mínimo histórico de 2,7 M3/s en la Estación Romeral durante el año 2019 (Raggio, C., & Herrera, P., 2020).

Esta situación se explica al menos por dos motivos: el primero, es que el régimen hídrico se ha visto afectado durante la mega sequía (Garreaud, et al., 2017), aumentando la participación de los aportes glaciares de la cuenca, debido a la escasez de precipitaciones sólidas, como también a los impactos del aumento de la altura de la isoterma 0°, disminuyendo así la acumulación nival de la cuenca que sostenía el caudal del río. El segundo motivo, se refiere a la sobreexplotación en la cuenca del Aconcagua a lo largo de todo su cauce, dada la demanda que ejercen las actividades productivas mineras en la parte alta de la cuenca, y agrícolas a lo largo de todo el valle (Raggio, C. & Herrera, P., 2020), afectando entre otras, las reservas hídricas del embalse Los Aromos y Peñuelas.

La producción y distribución de agua potable, así como la recolección y disposición de aguas servidas se encuentra administrado por la empresa sanitaria ESVAL S.A en el Sistema “Gran Valparaíso” compuesto por ocho **localidades**: Valparaíso, Placilla de Peñuelas, Curauma, Viña del Mar, Reñaca, Concón, Quilpué y Villa Alemana (Figura B2.1). La producción de agua potable se realiza a través de 42 puntos de captación de agua cruda, 4 plantas de producción y 151 estanques de distribución presentes en las 8 localidades que comprenden el sistema del Gran Valparaíso que abastecen a los clientes (376.010 al año 2019), a través de los 2.655 **cuarteles** de la empresa sanitaria (Para mayores detalles de la producción y distribución revisar Anexo 2). De la producción, es importante destacar que, tres fuentes de captación superficiales (de los 5 totales) son captaciones directas del río Aconcagua y representan el 57% de la producción total, por lo cual la disponibilidad hídrica del río Aconcagua es fundamental para mantener un suministro efectivo de agua potable en el sistema Gran Valparaíso. Los bajos niveles hídricos del río durante la mega sequía han llevado a aumentar la captación de aguas subterráneas impulsando la creación de 45 nuevos sondeos entre el año 2011 y 2019.

Respecto a la unidad de análisis espacial utilizada en la zonificación territorial de los resultados, se decidió trabajar a nivel de manzana censal, mientras el horizonte temporal corresponde al riesgo existente en el presente mediante la consolidación de la información producida entre los años 2015 y 2020.

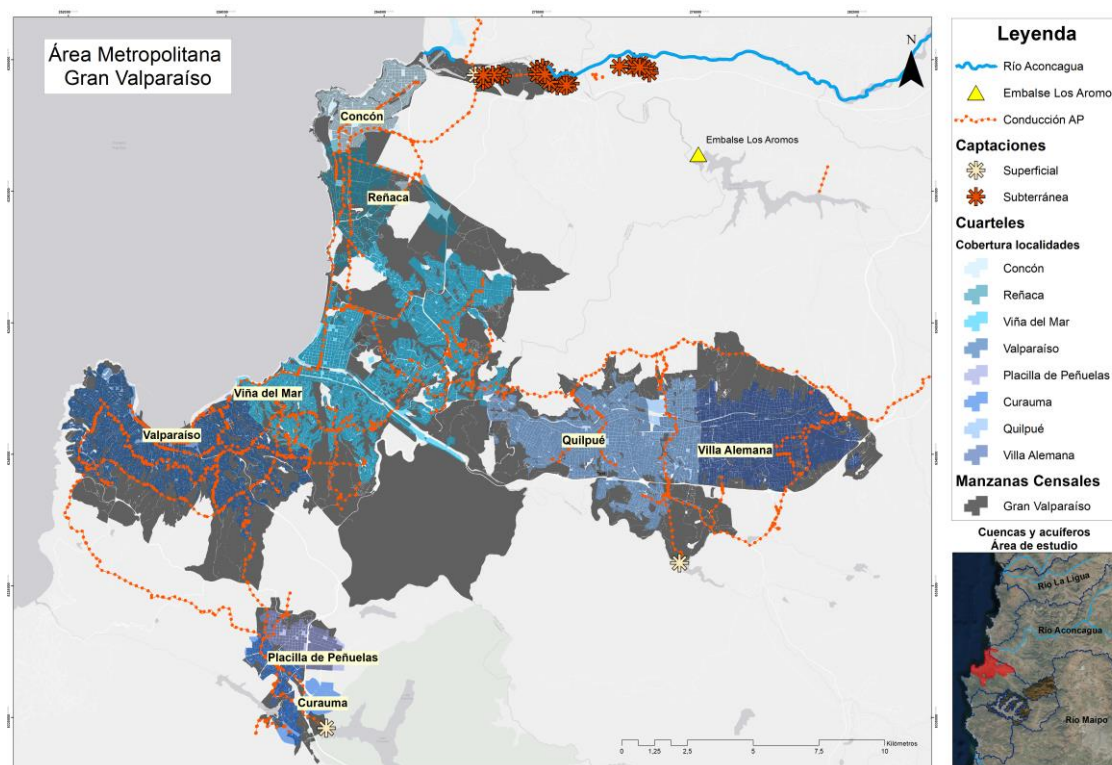


Figura 12. B2.1. Área Metropolitana del Gran Valparaíso, Río Aconcagua, Embalse Los Aromos, Conducción de AP, Captaciones superficiales y subterráneas, Cobertura de las sanitarias por Cuarteles y Manzanas Censales del Gran Valparaíso. Esquicio: Cuencas y acuíferos presentes en el área de Estudio. Fuente: Elaboración propia en base a ESVAL (SISS) y Censo (2017)

RIESGO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE URBANA DEL GRAN VALPARAÍSO.

Los componentes del riesgo hídrico que enfrenta la población del Gran Valparaíso se sistematizan mediante una cadena de impacto (ver Figura B2.2). En esta, la amenaza climática proviene del incremento de la sequía hidrológica y de precipitaciones intensas, las cuales pueden producir como impacto intermedio, la disminución en la cantidad y calidad del agua para la empresa sanitaria que gestiona y distribuye el agua potable en el área urbana.

Producto de lo anterior, lo que se ve puesto en riesgo por efecto de esta amenaza, es la seguridad hídrica urbana de los hogares que se ven expuestos a estas amenazas. En lo que respecta a los **ámbitos expuestos**, se prestó atención a la población urbana, cuya **sensibilidad** depende de factores relacionados con la existencia de **grupos vulnerables** a este tipo de amenaza y **condiciones de los servicios sanitarios**, principalmente la falta de cobertura o acceso al agua potable de buena calidad. 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 **flexibilidad del sistema**, comprendida como 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.

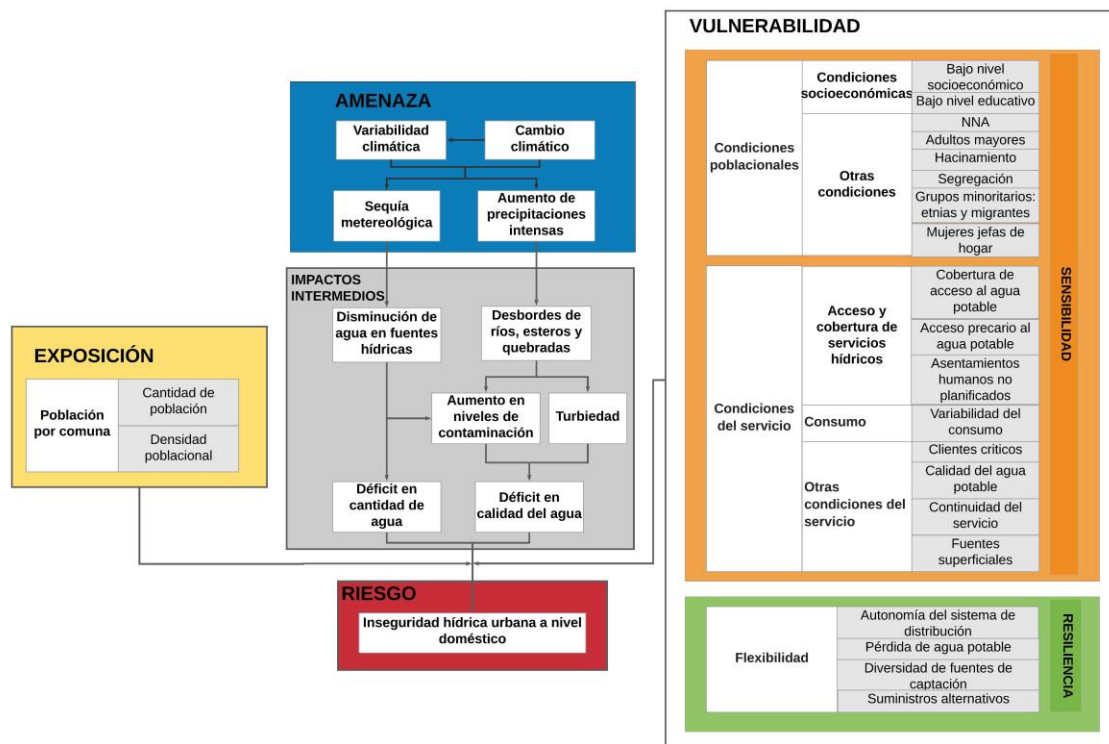


Figura 13. B2.2. Cadena de impactos al riesgo de la inseguridad hídrica urbana a nivel doméstico en el Área Metropolitana del Gran Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA EN EL GRAN VALPARAÍSO

Sobre la base de la cadena de impacto y los indicadores disponibles, se construyó una serie de mapas para los índices de sensibilidad, resiliencia y vulnerabilidad para el caso en

estudio (figura B2.3). El **mapa de sensibilidad** (figura B2.3 (a)), revela las manzanas con una mayor susceptibilidad frente a condiciones de falta de seguridad hídrica, en función de sus características poblacionales (ej. presencia de grupos vulnerables) y/o de las condiciones del servicio (ej. falta de cobertura). En este sentido, las mayores condiciones de sensibilidad se hacen presentes en las manzanas ubicadas en la periferia de todas las localidades consideradas, específicamente en aquellos lugares donde hay presencia de asentamientos informales, los cuales presentan características asociadas a la falta de cobertura de agua potable por red y condiciones de sensibilidad de carácter económico y sociodemográfico. La **resiliencia** (figura B2.3 (b)) está definida principalmente por la capacidad que tienen los territorios de responder ante un corte de suministro, en este sentido las comunas de Valparaíso y Concón presentan mayores niveles de resiliencia, debido a la mayor cantidad de horas de autonomía de sus sistemas de distribución, llegando a presentar magnitudes de hasta 3 y 2 veces mayores que el resto de las localidades evaluadas. Por otra parte, las mayores capacidades de suministro alternativo se encuentran en parte de las localidades de Valparaíso, Reñaca, Viña del Mar y Quilpué elevando la resiliencia de dichas manzanas.

Vulnerabilidad Hídrica en el Gran Valparaíso

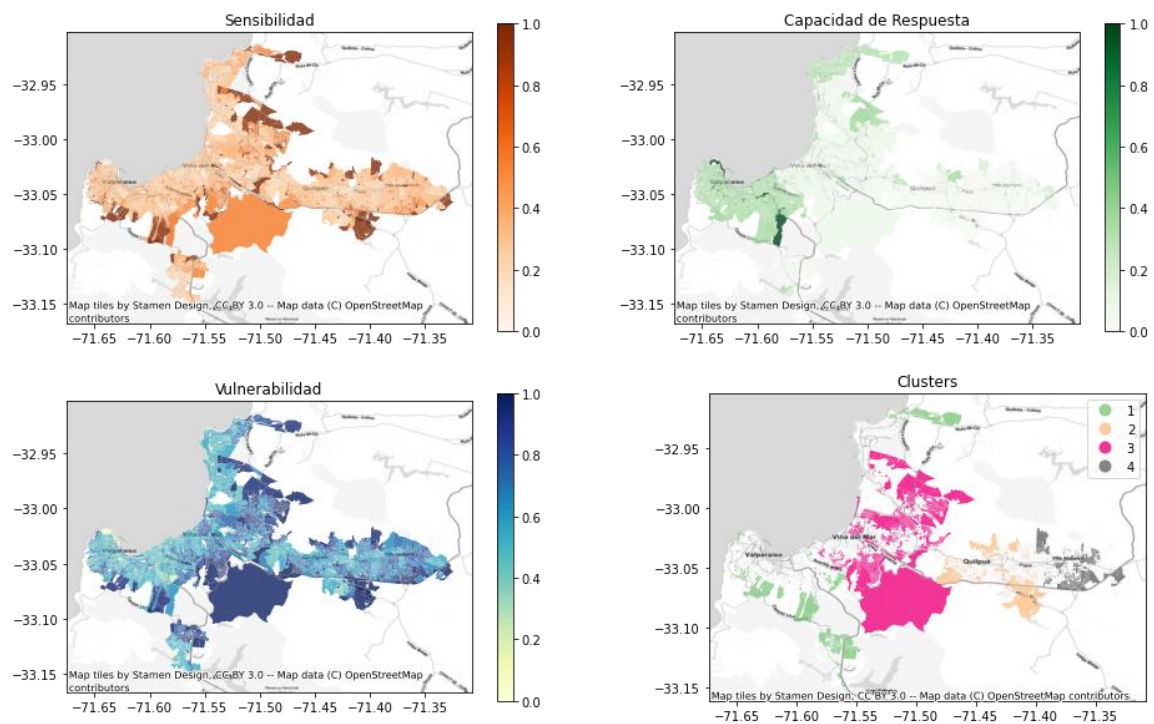


Figura 14 B2.3 Distribución de la capacidad de la sensibilidad (a), Capacidad de respuesta (b) y vulnerabilidad (c) ante la inseguridad hídrica urbana a nivel doméstico en el Área Metropolitana del Gran Valparaíso. En (d) se indica clusters de alta vulnerabilidad en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la **vulnerabilidad** (figura B2.3 (c)) se configura como una combinación de los patrones observados en los mapas mostrados anteriormente. En este sentido destacan situaciones como las de Curauma y Placilla de Peñuelas, que presentan una alta vulnerabilidad asociada a su escasa capacidad de resiliencia y una sensibilidad media. Situación que se replica en parte de las manzanas de Villa Alemana y Quilpué que, a pesar de no presentar una sensibilidad elevada, si son altamente vulnerables. Finalmente persiste la vulnerabilidad elevada en la mayoría de aquellos territorios que presentan una alta sensibilidad, lo que indica la presencia de bajos niveles de resiliencia que no logran mitigar la sensibilidad de la población.

Con el fin de identificar las características de distintos perfiles de manzanas censales que tienen un alto índice de vulnerabilidad, se realizó un análisis de cluster jerárquico (ACJ) utilizando el método de Ward (Murtagh & Legendre, 2014), sobre las manzanas del cuartil más vulnerable del área metropolitana de Valparaíso, las cuales tienen un índice de vulnerabilidad sobre 0,75, umbral considerado como “alto” en este análisis. Los resultados permiten determinar la presencia de grupos de manzanas con características diversas, los cuales se encuentran completamente circunscriptos dentro de las distintas localidades del área de estudio (figura B2.3 (d))

El cluster 1 comprende a las manzanas altamente vulnerables de las localidades de Valparaíso, Concón, Placilla de Peñuelas y Curauma; el cluster 2, considera el área de Quilpué. El cluster 3, a las manzanas de Viña del Mar y Reñaca; y el 4, a las de Villa Alemana (ver mapa 4).

Cabe destacar la gran cantidad de manzanas de las localidades de Viña del Mar y Reñaca, que se encuentra en el primer cuartil de la distribución del índice de vulnerabilidad en el área de estudio, alcanzando un total de 1.398 manzanas representando al 39% de las manzanas de dichas localidades. En contraste las manzanas altamente vulnerables del cluster 1 correspondiente a las comunas de Valparaíso y Concón, ascienden a 404 representando solamente un 10% del total de las manzanas de dichas localidades. En el caso de Quilpué y Villa Alemana un 24 y 33% de las manzanas de cada localidad poseen un índice de vulnerabilidad sobre 0.75.

De este análisis se pueden establecer ciertas diferencias que caracterizan a las manzanas censales con una alta vulnerabilidad hídrica en las distintas localidades, permitiendo a los tomadores de decisiones enfocar sus esfuerzos en las variables que determinan en un mayor grado la vulnerabilidad en su respectiva localidad. Para las localidades de Valparaíso, Curauma, Placilla de Peñuelas, Concón, Reñaca y Viña del Mar, contenidas en los cluster 1 y 3; destaca la importancia que tienen los problemas de cobertura determinados por la presencia de asentamientos no planificados, las altas tasas de población sin acceso a agua potable o ambas a la vez en el caso del cluster 1. Además, destacan las interrupciones del

servicio por cortes reiterados, los elevados niveles de consumo en el cluster 1 y los mayores niveles de hacinamiento. En el caso específico de las manzanas de las localidades de Viña del Mar y Reñaca, cabe destacar las mayores tasas de pobreza, la cantidad de clientes críticos (refiere a clientes que prestan servicios esenciales a la comunidad como escuelas y hospitales) presentes y una menor capacidad de resiliencia determinada por la baja autonomía, a la que se le debe prestar especial atención.

En las manzanas de las localidades de Quilpué y Villa Alemana se deben considerar especialmente los bajos niveles de resiliencia que presentan, determinados por la baja autonomía, así como la menor diversidad de fuentes de captación. Además, cabe destacar los problemas de cobertura que aún presenta su población, especialmente en el caso de Villa Alemana, así como el elevado consumo de las manzanas vulnerables de Quilpué.

REFERENCIAS:

- Amigo, C., Alamos, N., Arrieta, D., Billi, M., Contreras, M., Larragubel, C., Muñoz, A., Smith, P., Urquiza, A., Vargas, M., Videla, J. T., & Winckler, P. (2020). ARCLIM Anexo: Piloto Riesgo integrado de Asentamientos Humanos. Conurbación Valparaíso—Viña del Mar. Centro de Ciencia Del Clima y La Resiliencia, (ANID/FONDAP/15110009), y Centro de Cambio Global UC Para El Ministerio Del Medio Ambiente a Través de La Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Santiago, Chile.
- Corporación Ciudades. (s.f.). Atlas de Bienestar Territorial; Gran Valparaíso, región de Valparaíso. recuperado de <http://corporacionciudades.cl/wp-content/uploads/2019/04/ATLAS-VALPARA%C3%8DSO.pdf>
- Crespo, S., Lavergne, C., Fernandoy, F., Muñoz, A. A., Cara, L., & Olfos-vargas, S. (n.d.). Where Does the Chilean Aconcagua River Come from? Use of Natural Tracers for Water Genesis Characterization in Glacial and Periglacial Environments. *Water*.
- Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Pablo Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>
- Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., & Veloso-aguila, H. H. S. D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010 – 2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, May, 1–19. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- Jensen, O., & Wu, H. (2018). Urban water security indicators: Development and pilot. *Environmental Science and Policy*, 83(February), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.003>

- Murtagh, F., Legendre, P., 2014. Ward's hierarchical agglomerative clustering method: which algorithms implement Ward's criterion. *J. Classif.* 31, 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
- Niemeyer, H. (1980). *Hoyas hidrográficas de Chile*.
- Raggio, C. C. & Herrera, G. P. (2020). *La Gestión del Agua en la Región de Valparaíso. Más allá de la sequía y el cambio climático*. Documento de Trabajo N° 3. Valparaíso, Chile.
- SISS. (2017). *Informe de Gestión del Sector Sanitario en Chile 2016*. Superintendencia de Servicios Sanitarios. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SISS. (2018). *Informe de Gestión del Sector Sanitario en Chile 2017*. Superintendencia de Servicios Sanitarios, 192
- Urquiza, A., Billi, M., Calvo, R., Amigo, C., Navea, J., Monsalve, T., Álamos, N., Neira, C., Rauld, J., Allendes, Á., Arrieta, D., Barrera, V., Basoalto, J., Cárdenas, M., Contreras, M., Fleischmann, M., Horta, D., Labraña, J., Larragubel, C., Winckler, P. (2020a). *Informe Proyecto ARCLim: Asentamientos Humanos*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Red de Pobreza Energética, Iniciativa ENEAS: Energía, Agua y Sustentabilidad y Núcleo de Estudios Sistémicos Transdisciplinarios. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, (ANID/FONDAP/15110009) y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Santiago, Chile.

BOX 3:

EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD HÍDRICA TERRITORIAL CONSIDERANDO LAS INTERACCIONES ENTRE AGUA, ENERGÍA Y ALIMENTOS

El cambio climático antropogénico genera diversos impactos en los sistemas naturales que sirven de base para servicios ecosistémicos cruciales en el funcionamiento de servicios básicos para el desarrollo humano (IPCC, 2018; J. Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Asimismo, dado que sistemas naturales y humanos se encuentran fuertemente acoplados y que existen múltiples relaciones de dependencia y complementariedad entre sectores productivos básicos (agua, energía y alimentos), la evaluación de la vulnerabilidad hídrica territorial se beneficia de acoplar distintos modelos sectoriales en una evaluación integrada al considerar el efecto de distintos sectores sobre el recurso hídrico.

Bajo esta perspectiva, el enfoque de nexo entre agua, energía y alimento (nexo WEF por sus siglas en inglés: Water-Energy-Food) es utilizado tanto como una herramienta

analítica, aplicando métodos cuantitativos y cualitativos para comprender las interacciones y efectos entre los recursos de los tres sistemas; como marco conceptual, proponiendo conceptos para comprender los vínculos y relaciones, con el fin de aportar a la formulación de políticas públicas coherentes con modelos sustentables de desarrollo (Al-Saidi & Elagib, 2017; Nhamo et al., 2020).

Una manera de abarcar esta complejidad consiste en aplicar la herramienta de modelación participativa Fuzzy Cognitive Map (FCM), para el análisis de riesgo integrado utilizando el enfoque nexo WEF (Gray et al., 2015). En primera instancia, esta metodología permite identificar gráficamente las interacciones entre componentes y fenómenos de los sistemas hídricos, energéticos y alimentarios. En este sentido, permite la construcción participativa y la reflexión sobre posibles *trade-offs* y co-beneficios entre medidas de políticas públicas, así como también la probabilidad de efectos en cascada entre los distintos sistemas en escenario de cambio climático adverso (Rocha et al., 2018).

A continuación, se resumirán brevemente los hallazgos derivados de la aplicación de esta metodología a la Sub-Cuenca del Cachapoal (Región de O'Higgins), lo que permite visualizar y cuantificar relaciones e interdependencias entre estos tres sistemas, modelando el funcionamiento de estos sistemas complejos y su nexo. Una descripción completa de este análisis se encuentra en Calvo et al. (2020).

En la Figura B2.1 se observa el conjunto de relaciones entre fenómenos y componentes de los sistemas energéticos, hídricos y alimentarios sistematizado para la subcuenca del Cachapoal a partir de revisión de literatura científica y gris. Entre ellos es clave destacar el uso de recurso hídrico para la generación eléctrica (mini hidroeléctricas de pasada y operación de termoeléctricas) y para la producción de alimentos tanto de cultivos anuales (hortalizas) y frutales (principalmente hacia el oeste de la subcuenca).

En segundo lugar, permite la cuantificación de las relaciones entre sistemas a partir de una evaluación participativa, lo que permite un acercamiento semi-cuantitativo que entrega las señales de cambio en variables de interés bajo escenarios de cambio climático. En esta investigación, se simuló un escenario de sequía adversa al modificar la disponibilidad de agua subterránea y de agua superficial simulando un escenario de cambio climático severo, definiendo una señal de cambio de -1 (rango de -1 a 1).

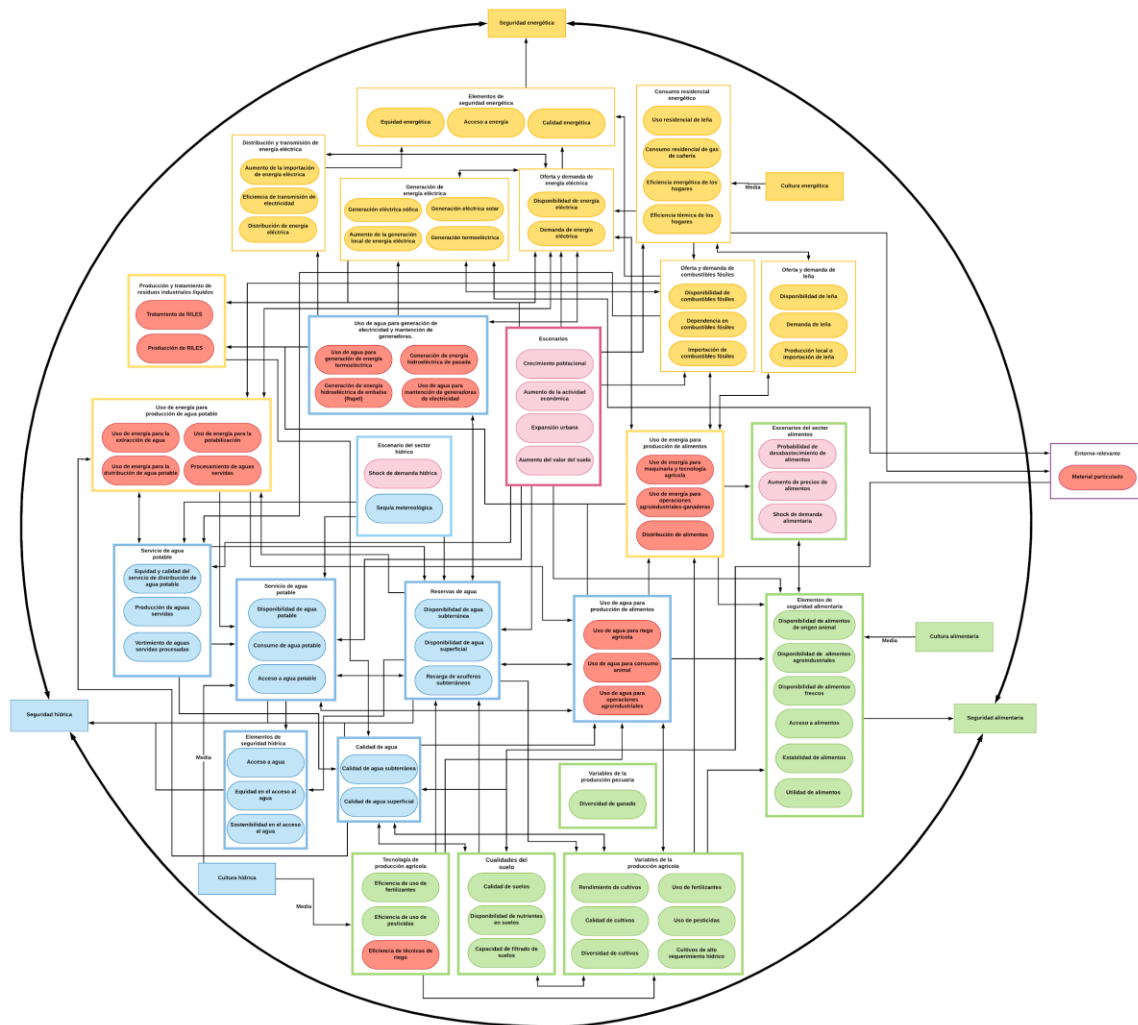


Figura 15. B3.1. Diagrama resumen modelo FCM. Fuente: Elaboración propia.

Considerando los valores que se otorgaron a las relaciones causales, y ante un escenario de sequía severa derivada del cambio climático, se observa en la figura B2.2 que las principales afectaciones negativas ocurren en: acceso a agua para consumo humano (-40%), uso de agua para riego agrícola (-28%), uso de agua para operaciones agroindustriales (-25%), generación de energía hidroeléctrica de pasada (-33%), generación de energía hidroeléctrica de embalse (Rapel) (-30%), disponibilidad de agua potable (-28%), uso de agua para mantenimiento de generadoras de electricidad (-32%), uso de agua para generación de energía termoeléctrica (-32%), rendimiento de cultivos (-22%) y recarga de acuíferos subterráneos (-29%).

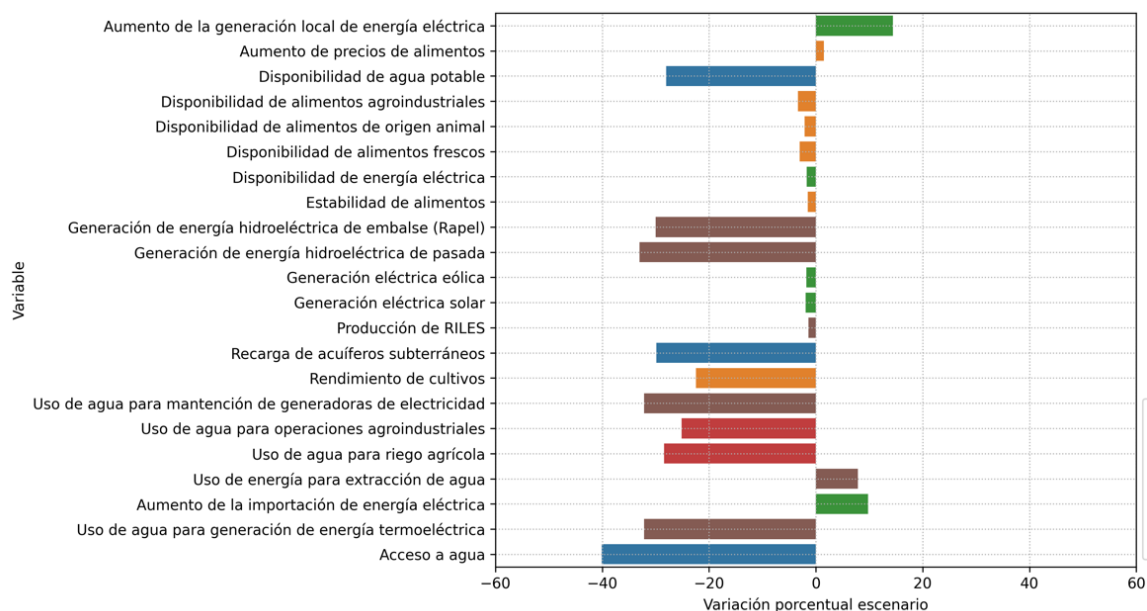


Figura 16. B32. Resultado modelación FCM escenario de sequía; geometría sigmoide. Color azul: sector agua; naranja: sector alimento; verde: sector energía; rojo: nexos agua-alimento; café: nexos agua-energía. Fuente: Elaboración propia.

En suma, la modelación de este escenario permite observar impactos del cambio climático o variables antrópicas locales que de otra forma se verían como inconexos, complejizando la observación de las interacciones entre los sistemas sociotécnicos y socioecológicos. Dado que Fuzzy Cognitive Map corresponde a una técnica semi-cuantitativa, su valor reside en la construcción de una representación conceptual de la interacción de estos sistemas y la posibilidad de estimar impactos, que generen visiones compartidas del fenómeno de interés en un proceso de modelación participativa. En este sentido, la magnitud de cambio en disponibilidad hídrica, por ejemplo, no corresponde a una disminución en m³ para la Sub-cuenca Cachapoal (resultado que es posible obtener mediante una modelación cuantitativa), sino más bien permite ilustrar conceptualmente sistemas altamente complejos en los que existen aún desafíos importantes para la modelación cuantitativa.

Finalmente y para seguir avanzando en el estudio integrado de riesgos es que se plantea seguir desarrollando el estudio de este nexo agua-energía-alimentos, por un lado mediante la validación de estos resultados con los actores locales, buscando su participación en el diseño de la modelación de los sistemas y su nexo, y por otro, se concluye la necesidad de desarrollar herramientas de carácter cuantitativo que logren complementar el ejercicio conceptual de FCM con resultados sobre variables clave para la evaluación de la seguridad hídrica (caudal, recarga de acuífero, entre otras), que permitan cuantificar la vulnerabilidad hídrica territorial, y el impacto que tendrían medidas de mitigación y adaptación sobre la seguridad hídrica del territorio.

REFERENCIAS

- Al-Saidi, M., & Elagib, N. A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of the Total Environment*, 574, 1131–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>
- Gray, S. A., Gray, S., de Kok, J. L., Helfgott, A. E. R., O'Dwyer, B., Jordan, R., & Nyaki, A. (2015). Using fuzzy cognitive mapping as a participatory approach to analyze change, preferred states, and perceived resilience of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 20(2). <https://doi.org/10.5751/ES-07396-200211>
- IPCC. (2018). GLOBAL WARMING OF 1.5 °C Can IPCC special report on the impacts of global. October 2018.
- J. Rockström, W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, E. F. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. J. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. de Wit, T. Hughes, S. van der
- Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, J. A. Foley. (2009). A safe operation space for humanity. *Nature*, 461(September).
- Nhamo, L., Mabhaudhi, T., Mpandeli, S., Dickens, C., Nhemachena, C., Senzanje, A., Naidoo, D., Liphadzi, S., & Modi, A. T. (2020). An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South Africa case study. *Environmental Science and Policy*, 109(April), 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.010>
- Rocha, J. C., Peterson, G., Bodin, Ö., & Levin, S. (2018). Cascading regime shifts within and across scales. *Science*, 362(6421), 1379–1383. <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

CONCLUSIONES

En este documento se buscó integrar distintos trabajos previos desarrollados por los autores en torno a la seguridad hídrica, la vulnerabilidad territorial y la resiliencia (Urquiza et al., 2020a; Urquiza et al., 2020b; Urquiza & Billi, 2020; RedPE, 2020; Amigo et al., 2020), en una propuesta analítica, metodológica y aplicada de cómo abordar y evaluar la vulnerabilidad hídrica territorial ante la inseguridad hídrica. Con este fin, se utiliza un marco analítico en base al concepto de seguridad hídrica y riesgo de manera amplia y flexible, capaz de ser aplicado a distintos sistemas (ecológicos, técnicos y socioculturales) y escalas

(cuencas, unidades administrativas, entre otros), considerando la complejidad y las diversas dimensiones de la seguridad hídrica. De esta forma, pretendemos poner a disposición un marco conceptual, analítico y metodológico que sirva de referencia a una gran diversidad de estudios en torno a la VHT, facilitando su comprensión, comparabilidad, replicabilidad y adaptabilidad.

Para el presente caso de estudio, nos enfocamos en desarrollar un marco metodológico (adaptable a distintos servicios, sistemas y territoriales) que permita evaluar la VHT del servicio de agua potable, para uso doméstico urbano. Este marco facilita la observación de múltiples amenazas, diversos componentes expuestos y resalta la interrelación entre ellos, mediante la utilización de modelos analíticos como la cadena de impactos anidada (GIZ, 2017). Para esto recomendamos la utilización de indicadores sintéticos que faciliten la comprensión y comparabilidad de la VHT de los distintos territorios evaluados, según distintos tipos de usuarios y actores de la sociedad.

Por otro lado, para avanzar en análisis territoriales que evalúen las distintas aristas de la VHT que afectan a un territorio, se propone analizar de forma simultánea e interrelacionada las distintas características de sensibilidad y resiliencia que afectan a los sistemas ecológicos, técnicos y socioculturales que interactúan con los servicios evaluados. En este sentido es importante mencionar que un análisis integral de la seguridad hídrica de un territorio, debe considerar la evaluación de otros servicios hídricos, como usos productivos, usos de interés público, usos ecosistémicos, usos culturales y recreativos u otros; y sus interrelaciones.

En el box 2 de este documento, aplicamos el marco analítico y metodológico propuesto en un caso de estudio, logrando evaluar y generar un índice de vulnerabilidad hídrica territorial a nivel de manzana urbana censal en el Gran Valparaíso. Con este fin se evaluaron las condiciones de sensibilidad y resiliencia (explorados en el box 1) de los sistemas técnicos y socioculturales relacionados a la provisión y consumo del servicio de agua potable para uso doméstico urbano, para luego elaborar un índice único de VHT para cada manzana censal del área de estudio mediante la metodología de lógica difusa. Cabe mencionar que en el marco del desarrollo de este caso de estudio, se entabló un diálogo fluido entre el equipo investigador y actores relevantes/de interés para el territorio, especialmente con las Secretarías de Planificación de Viña del Mar y Valparaíso, quienes retroalimentaron el trabajo en las distintas etapas, validando los indicadores identificados en la revisión de literatura, como a su vez, robusteciendo la información y bases de datos disponibles.

Los resultados muestran que existen ciertos territorios altamente vulnerables ante la inseguridad hídrica, donde destacan principalmente lugares con elevados niveles de sensibilidad, asociados principalmente a problemas de cobertura y acceso al agua potable y a la presencia de asentamientos informales. Cabe destacar que estos mismos territorios son comúnmente considerados como no habitables y altamente riesgosos ante otras amenazas

climáticas como incendios forestales, remoción en masa y en algunos casos inundaciones (Amigo et al., 2020).

Con el fin de facilitar a los tomadores de decisiones de las distintas comunas del área de estudio comprender qué variables determinan en un mayor grado la vulnerabilidad en su respectiva localidad, se analizó mediante estadística descriptiva todos los indicadores que componen los índices de sensibilidad y resiliencia para clusters que agrupan a las manzanas censales según la localidad a la que pertenecen. Mediante este análisis identificamos que para las localidades de Valparaíso, Curauma, Placilla de Peñuelas, Concón, Reñaca y Viña del Mar, destaca la importancia que tienen los problemas de cobertura determinados por la presencia de asentamientos no planificados y/o las altas tasas de población sin acceso a agua potable. Además, destacan las interrupciones del servicio por cortes reiterados, los elevados niveles de consumo y los mayores niveles de hacinamiento. Por otro lado, en el caso específico de las manzanas de las localidades de Viña del Mar y Reñaca, destacan las mayores tasas de pobreza, la cantidad de clientes críticos presentes y una menor capacidad de respuesta, determinada por la baja autonomía, condición a la que se le debe prestar especial atención. Finalmente, en las manzanas de las localidades de Quilpué y Villa Alemana se deben considerar los bajos niveles de capacidad de respuesta asociados con la baja autonomía y diversidad de fuentes de captación. Además, cabe destacar los problemas de cobertura que aún presenta su población, especialmente en el caso de Villa Alemana y el elevado consumo de las manzanas vulnerables de Quilpué.

A partir de este trabajo se abren distintas líneas de investigación que es necesario abordar. Para continuar avanzando en un análisis integrado de la seguridad hídrica es necesario ampliar esta investigación a la evaluación de otros servicios hídricos, así como a la evaluación y cuantificación de la sensibilidad, y resiliencia de los sistemas ecológicos que sostienen los servicios hídricos del área de estudio. Cabe destacar que bajo un enfoque de vulnerabilidad anidada entre los distintos sistemas que componen el territorio, evaluar la vulnerabilidad del sistema ecológico, permitiría modelar las amenazas naturales que afectan a los servicios hídricos y por lo tanto avanzar en la cuantificación del riesgo ante inseguridad hídrica que enfrenta la población.

Además, se debe tener en cuenta que para poder desarrollar medidas de adaptación ante la inseguridad hídrica, es necesario proyectar en el tiempo la evolución del riesgo que enfrentan los distintos territorios, considerando la disponibilidad, continuidad y calidad del recurso hídrico en el territorio de análisis. En este sentido, los elevados niveles de incertidumbre sobre la evolución de estos parámetros (Greve et al., 2018) conllevan desafíos sustanciales a la política pública, que pueden traducirse en nuevas amenazas antrópicas a la seguridad hídrica.

Ante la falta de información certera para un territorio es recomendable observar las tendencias mundiales en materia hídrica, donde destaca el mayor ritmo de crecimiento de la demanda hídrica doméstica e industrial respecto a la agricultura (que sigue siendo el sector que más consume) y la rápida desaparición de los acuíferos (Richey et al., 2015). Además, se proyecta un deterioro en la calidad del agua debido al rápido crecimiento de la agroindustria, y el uso de fertilizantes y productos contaminantes (Xie and Ringler, 2017). A su vez, a nivel local se necesita generar información adecuada y reciente que permita comprender la cantidad de agua disponible de las fuentes hídricas y los impactos de la sobreexplotación, o el deterioro de los ecosistemas y los ciclos del agua, entre otras; en miras de reducir el consumo intensivo de agua y priorizar la seguridad hídrica abordada en esta investigación.

Finalmente, para robustecer la comprensión de la (in)seguridad hídrica, se necesita complementar la perspectiva longitudinal (riesgos) con la observación transversal de la inseguridad, que permita evaluar el acceso equitativo, la calidad y cantidad de los servicios hídricos en el territorio, evidenciando brechas específicas en términos de acceso y/o equidad (Urquiza y Billi, 2020).

REFERENCIAS

- Abujatum, E., G., Palomino, G., Sesmero, C., Riquelme, J., Farías, I., Ferrer, A. & Rojas, J. (2019). Proyecto de actualización de la modelación hidrológica integrada del Aconcagua. WSP consulting Chile LTDA. para Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile. 53p.
- Adams, E. A., Stoler, J., & Adams, Y. (2020). 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
- 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
- Amigo, C. (2019). Cultura y vulnerabilidad energética territorial: el problema de la contaminación en Coyhaique [Tesis para optar al grado de Magíster en Análisis Sistémico aplicado a la Sociedad, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173897>
- Amigo, C., Alamos, N., Arrieta, D., Billi, M., Contreras, M., Larragubel, C., Muñoz, A., Smith, P., Urquiza, A., Vargas, M., Videla, J. T., & Winckler, P. (2020). ARCLIM Anexo: Piloto Riesgo integrado de Asentamientos Humanos. Conurbación Valparaíso—Viña del Mar. Centro de Ciencia Del Clima y La Resiliencia, (ANID/FONDAP/15110009), y Centro de Cambio Global UC Para El Ministerio Del Medio Ambiente a Través de La Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Santiago, Chile.

- Barría, P., Barría, I., Guzman, C., Chadwick, C., Alvarez-Garretón, C., Diaz-Vasconcellos, R., Ocampo-Melgar, A., & Fuster, R. (2021). Water allocation under climate change: A diagnosis of the Chilean system. *Elementa Science of the Anthropocene*, 1–20.
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof. (2008). El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 págs.
- Berkes, F., Colding, J., Folke, C. (2001). Navigating Social-Ecological Systems. En Cambridge.
- Bernex, N. (2016). Linking ecosystem services and water security. Perspective Paper. Global Water Partnership. Recuperado de: https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/gwp_pp_-ecosystems-services.pdf
- Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). (s.f.). Clima y vegetación Región de Valparaíso. recuperado de: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm#:~:text=Desde%20el%20puento%20de%20vista,de%20altura%20hacia%20la%20cordillera>.
- Biggs, R., Schlüter, M., Biggs, D., Bohensky, E. L., BurnSilver, S., Cundill, G., ... West, P. C. (2012). Toward Principles for Enhancing the Resilience of Ecosystem Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 421–448. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836>
- Biggs, R., Schlüter, M., & Schoon, M. (Eds.). (2015). Principles for Building Resilience: Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781316014240
- Bohoslavsky, J. P., & Justo, J. B. (2011). Protección del derecho humano al agua y arbitrajes de inversión, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Colección de documentos de proyectos, Santiago, Chile.
- Bosch, J., M., Hewlett, J., D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration, *Journal of Hydrology*, Volume 55, Issues 1–4, Pages 3-23, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2).
- Budds, J (2004). "Power, nature and neoliberalism: the political ecology of water in Chile." *Singapore Journal of Tropical Geography* 25.3 (2004): 322-342.
- Budds, J. (2020). Securing the market: Water security and the internal contradictions of Chile's Water Code. *Geoforum*, 1–46.
- Budds, J & Roa García, M, (eds) (2018) Agua, Equidad y Justicia: El Papel de las Relaciones de Poder en la Asignación, Uso y Gobernanza de Recursos Hídricos en los Andes. Fondo Editorial PUCP, Lima. ISBN 9786124320309
- Binder, C. R., Mühlemeier, S., & Wyss, R. (2017). An indicator-based approach for analyzing the resilience of transitions for energy regions. Part I: Theoretical and conceptual considerations. *Energies*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en10010036>

- Calder, I.R. Hall, R.L., & Adlard, P.G. (Eds.). (1992). Growth and water use of forest plantations. United States: John Wiley and Sons, Inc.
- Calvo, R., Navea, J., Fleischmann, M., Barrera, V., Peña, D., Billi, M. y Urquiza, A. (2020). ARCLim – Atlas de Riesgo Climático. Anexo: Piloto Riesgo integrado. Cuenca del río Cachapoal- Región de O'Higgins.
- Cardona, O. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (FONDAP 15110009) “Guía de referencia para la plataforma de visualización de simulaciones climáticas”. Proyecto “Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad” mandado por el Ministerio del Medio Ambiente. Julio de 2018. Disponible en www.cr2.cl
- Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (2021). Informe a las Naciones Gobernanza Climática de los Elementos.
- Chadwick, C., Gironás, J., Barriá, P., Vicuña, S., & Meza, F. (2021). Assessing Reservoir Performance under Climate Change. When Is It Going to Be Too Late If Current Water Management Is.
- Chardon, A. (2008). Amenaza, vulnerabilidad y sociedades urbanas: Una visión desde la dimensión institucional. Revista Gestión y Medio Ambiente N°2, pp. 123-136. Universidad Nacional de Colombia.
- Chen, Z., S. Grasby and K. Osadetz. (2004). Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. J. Hydrol., 290(1–2), 43–62.
- Cook, S., Sharma, A., & Chong, M. (2013). Performance Analysis of a Communal Residential Rainwater System for Potable Supply: A Case Study in Brisbane, Australia. WATER RESOURCES MANAGEMENT, 27(14), 11. doi: 10.1007/s11269-013-0443-8.
- Corporación Ciudades. (s.f.). Atlas de Bienestar Territorial; Gran Valparaíso, región de Valparaíso. recuperado de <http://corporacionciudades.cl/wp-content/uploads/2019/04/ATLAS-VALPARA%C3%82SO.pdf>
- Cumming, G. S. (2011). Spatial Resilience in Social-Ecological Systems. En Springer. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0307-0>
- Damania, R., A.-s. Rodella, J. Russ and E. Zaveri, 2019: Quality Unknown: The Invisible Water Crisis. World Bank, Washington D.C. [Available at: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/32245/9781464814594.pdf?sequence=8>].
- D’Ercole R. & Metzger P. (2009), «Las dimensiones espaciales del manejo de crisis. Interés de la investigación y aplicación en Quito», Bulletin de l’Institut français d’études andines, 38 (3), 893-915.
- Dirección General de Aguas (2017). “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. Volumen I, II y III”, S.I.T N° 419, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de 22 Aguas,

- División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: Unión Temporal de Proveedores, Hídrica Consultores Spa y Aquaterra Ingenieros Ltda.
- 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.
- Dos Santos, S., Adams, E. A., Neville, G., Wada, Y., de Sherbinin, A., Mullin Bernhardt, E., & Adamo, S. B. (2017). 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, S., & De Farias, M. (2017). Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1007-1015. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.06.251.
- du Plessis, C., D.K. Irurah & R.J. Scholes. (2003). The built environment and climate change in South Africa. *Build. Res. Inf.*, 31(3–4), 240–256.
- Espinosa-Cristia, J.F., Feregrino, J., y Isla, P., (2019) Emerging, and old, dilemmas for food security in Latin America. *Journal of Public Affairs* 19, e1999. <https://doi.org/10.1002/pa.1999>
- ESVAL S. A. (2010). Ficha de Antecedentes Técnicos (F.A.T): Sistema Gran Valparaíso. Superintendencia de Servicios Sanitarios. Santiago, Chile.
- Farinosi, F., Giupponi, C., Reynaud, A., Ceccherini, G., Carmona-Moreno, C., De Roo, A., Gonzalez-Sanchez, D., & Bidoglio, G. (2018). An innovative approach to the assessment of hydro-political risk: A spatially explicit, data driven indicator of hydro-political issues. *Global Environmental Change*, 52, 286–313. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.07.001>
- Farley, K.A., Jobbágy, E.G. & Jackson, R.B. (2005). Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, 11: 1565-1576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01011.x>
- Flinn, K. M., Lechowicz, M. J., Waterway, M. J. (2008). Plant species diversity and composition of wetlands within an upland forest *Am. J. Bot.*, 95 (10) 1216– 1224. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800098>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30(1) 441–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>

- Folke, C. 2016. Resilience (Republished). *Ecology and Society* 21(4):44. <https://doi.org/10.5751/ES-09088-210444>
- Franco-Torres, M., Kvålshaugen, R., & Ugarelli, R. M. (2021). Understanding the governance of urban water services from an institutional logics perspective. *Utilities Policy*, 68(February 2020), 101159. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101159>
- Gain, A. K., & Giupponi, C. (2015). A dynamic assessment of water scarcity risk in the Lower Brahmaputra River Basin: An integrated approach. *Ecological Indicators*, 48, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.034>
- 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
- Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Pablo Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., LeQuesne, C., McPhee, J., & Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327. <https://doi.org/10.5194/hess-21-6307-2017>
- Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., & Veloso-aguila, H. H. S. D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010 – 2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, May, 1–19. <https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- 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
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274.
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6–7), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Geels, F. W. (2010). Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research Policy*, 39(4), 495–510. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.022>
- Giupponi, C., Mojtahed, V., & Gain, A. K. (2015). Integrated Risk Assessment of Water-Related Disasters. In *Hydro-Meteorological Hazards, Risks, and Disasters* (Issue 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394846-5.00006-0>
- GIZ. (2017). Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. http://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2017/10/GIZ-2017_Risk-Supplement-to-the-Vulnerability-Sourcebook.pdf
- Greve, P., Kahil, T., Mochizuki, J., Schinko, T., Satoh, Y., Burek, P., Fisher, G., Tramberend, S., Burtscher, R., Langan, S., y Wada, Y. (2018). Global assessment of water challenges under uncertainty in water scarcity projections. *Nature Sustainability*, 1 (9), 486–494, doi:10.1038/s41893-018-0134-9.

- Grizzetti, B., Lanzaova, D., Liqueste, C., Reynaud, A., & Cardoso, A. C. (2016). Assessing water ecosystem services for water resource management. *Environmental Science and Policy*, 61, 194–203. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.04.008>
- Gunderson, L. H., & Holling, C. S. (2002). *Panarchy. Understanding transformations in human and natural systems*. Island Press. <https://doi.org/10.4324/9781315715865>
- Grey D., y Sadoff. C. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6): 545 - 571. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>
- Gutiérrez-Ojeda C. y Escolero-Fuentes O.A. (2020) Groundwater Resources of Mexico. In: Raynal Villaseñor J. (eds) *Water Resources of Mexico*. World Water Resources, vol 6. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40686-8_2
- Hidalgo, J.P., Boelens, R., y Vos, J., (2017) De-colonizing water. Dispossession, water insecurity, and Indigenous claims for resources, authority, and territory. *Water History* 9, 67–85.
- Hoekstra, A. (2018). Urban water security: A review Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 14.
- Hussien, W.A., Memon, F. A., y Savic, D. A. (2018). A risk-based assessment of the household water energy-food nexus under the impact of seasonal variability. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1275–1289
- Hutton, G., y Chase, C. (2016). The Knowledge Base for Achieving the Sustainable Development Goal Targets on Water Supply, Sanitation and Hygiene. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(6), 536. <https://doi.org/10.3390/ijerph13060536>
- Huynh, Pta., & Resurreccion, Bp. (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.
- 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
- IPCC. (2012). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. En *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139177245>
- IPCC. (2014a): Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- IPCC. (2014b): Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma,

- E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza), 200 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso)
- IPCC. (2019). The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (SROCC) - Summary for Policymakers. September, 43.
- Jackson, R., B., Jobbágy, E., G., Avissar, R., Baidya Roy, S., Barret, D., J., Cook, C., W., Farley, K., A., le Maitre, D., C., McCarl, B., A. & Murray, B., C. (2005) Trading Water for Carbon with Biological Carbon Sequestration. *Science* 23 Dec 2005: Vol. 310, Issue 5756, pp. 1944-1947 DOI: 10.1126/science.1119282
- 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>
- Jensen, O., & Wu, H. (2018). Urban water security indicators: Development and pilot. *Environmental Science and Policy*, 83(February), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.02.003>
- Jepson, W (2013). Measuring “no-win” waterscapes: Experience-based scales and classification approach to assess household water security in colonias on the USMexico border. Department of Geography, Texas A&M University, USA. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.002>
- Joshi, K. (2019). The impact of drought on human capital in rural India. *Environment and Development Economics*, 24(4), 413-436. DOI: 10.1017/S1355770X19000123.
- Kayser, G., Moriarty, P., Fonseca, C., & Bartram, J. (2013). Domestic Water Service Delivery Indicators and Frameworks for Monitoring, Evaluation, Policy and Planning: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(10), 4812–4835. doi:10.3390/ijerph10104812
- Kinay, P., Morse, A. P., Villanueva, E. V., Morrissey, K., & Staddon, P. L. (2019). 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
- Kristvik, E., Muthanna, T., & Alfredsen, K. (2019). Assessment of future water availability under climate change, considering scenarios for population growth and ageing infrastructure. *JOURNAL OF WATER AND CLIMATE CHANGE*, 10(1), 11. doi: 10.2166/wcc.2018.096.
- Kumar, M., Manohar, U., Pallavi, M. & Anjana, G. (2013). Urban water supply and management. *Journal of the Indian Institute of Science*, 93(2), 295-318.
- Kuriqi, A., Pinheiro, A., Sordo-ward, A., Garrote, L. (2017). Trade-off Between Environmental Flow Policy and Run-of-River Hydropower Generation in Mediterranean Climate. Conference: 10th World Congress on Water Resources and Environment "Panta Rhei", Atenas, Volumen 1. DOI: 10.13140/RG.2.2.23257.21608
- Laborde, A., Tomasina, F., Bianchi, F., Bruné, M.-N., Buka, I., Comba, P., ... Landrigan, P. J. (2014). Children's Health in Latin America: The Influence of Environmental Exposures, 123(3), 201-209. doi:10.1289/ehp.1408292

- Lavell, A. (1996). Degradación Ambiental, Riesgo y Desastre Urbano: Problemas y Conceptos. En Fernández, M. (1996). Ciudades en Riesgo. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. Lima, Perú.
- Lambert, A. (2003). Economic Valuation of Wetlands: an Important Component of Wetland Management Strategies at the River Basin Scale. Recuperado de https://www.unepscs.org/Economic_Valuation_Training_Materials/06%20Readings%20on%20Economic%20Valuation%20of%20Coastal%20Habitats/07-Economic-Valuation-Wetlands-Management.pdf
- Matos, C., Cunha, A., Pereira, F., Gonçalves, A., Silva, E., Pereira, S., Bentes, I., Faria, D., y Briga-Sá, A. (2019) Characterization of water and energy consumptions at the end use level in rural and urban environments: preliminary results of the ENERWAT Project. *Urban Science* 3, 8
- Mehran, A., Mazdiyasni, O., & AghaKouchak, A. (2015). A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *Journal of Geophysical Research*, 120(15), 7520–7533. <https://doi.org/10.1002/2015JD023147>
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances* 12 Feb 2016: Vol. 2, no. 2, e1500323 DOI: 10.1126/sciadv.1500323
- 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.
- Molyneaux, L., Brown, C., Wagner, L., & Foster, J. (2016). Measuring resilience in energy systems: Insights from a range of disciplines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1068–1079. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.063>
- 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.
- Muñoz, A. A., Klock-barr, K., Alvarez-garretón, C., Aguilera-betti, I., Gonz, Á., Lastra, J. A., Ch, R. O., Barr, P., Christie, D., Rojas-badilla, M., & Lequesne, C. (2020). Water Crisis in Petorca Basin, Chile: The Combined Effects of a Mega-Drought and Water Management. *Water*.
- Murtagh, F., Legendre, P., 2014. Ward's hierarchical agglomerative clustering method: which algorithms implement Ward's criterion. *J. Classif.* 31, 274–295. <https://doi.org/10.1007/s00357-014-9161-z>
- Niemeyer, H. (1980). Hoyas hidrográficas de Chile.
- Nykqvist, B. (2014). Does Social Learning Lead to Better Natural Resource Management? A Case Study of the Modern Farming Community of Practice in Sweden. *Society and Natural Resources*, 27(4), 436–450. <https://doi.org/10.1080/08941920.2013.861562>

- Olsson, P., Folke, C., & Hahn, T. (2004). Social-ecological transformation for ecosystem management: The development of adaptive co-management of a wetland landscape in southern Sweden. *Ecology and Society*, 9(4). <https://doi.org/10.5751/ES-00683-090402>
- 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.
- Parraguez-Vergara, E., Contreras, B., Clavijo, N., Villegas, V., Paucar, N., y Ther, F (2018) Does indigenous and campesino traditional agriculture have anything to contribute to food sovereignty in Latin America? Evidence from Chile, Peru, Ecuador, Colombia, Guatemala and Mexico. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 16, 4-5, 326-341, <https://doi.org/10.1080/14735903.2018.1489361>
- Pérez-Fargallo, A., Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A., y Trebilcock, M. (2017). Development policy in social housing allocation: Fuel poverty potential risk index. *Indoor and Built Environment*, 26(7), 980-998. <https://doi.org/10.1177/1420326X17713071>
- Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E. L., Clark, D. B., Arnell, N. W., Dankers, R., Fekete, B. M., Franssen, W., Gerten, D., Gosling, S. N., Hagemann, S., & Hannah, D. M. (2014). *Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment*. 111(9). <https://doi.org/10.1073/pnas.1222473110>
- Rahaman, M., Rahman, M., Bahauddin, K., Khan, S., & Hassan, S. (2018). Health Disorder of Climate Migrants in Khulna City: An Urban Slum Perspective. *International Migration*, 56(5), 1-14. doi: 10.1111/imig.12460
- Rahman, M., Ahmad, S., Mahmud, A., Hassan-uz-Zaman, M., Nahian, M., Ahmed, A., ... Streatfield, P. (2019). Health consequences of climate change in Bangladesh: An overview of the evidence, knowledge gaps and challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 10(5), 1-14. doi:10.1002/wcc.601
- Raggio, C. C. & Herrera, G. P. (2020). La Gestión del Agua en la Región de Valparaíso. Más allá de la sequía y el cambio climático. Documento de Trabajo N° 3. Valparaíso, Chile.
- Randell, H., & Gray, C. (2016). Climate variability and educational attainment evidence from rural Ethiopia. *Global Environmental Change*, 41, 111-123. DOI: 10.1016/J.GLOENVCHA.2016.09.006
- Rawshan, A., Kuriqi, A., Abubaker, S., Kisi, O. (2019). Hydrologic Alteration at the Upper and Middle Part of the Yangtze River, China: Towards Sustainable Water Resource Management under Increasing Water Exploitation. *Sustainability* 2019, 11(19), 5176; <https://doi.org/10.3390/su11195176>
- RedPE [Red de Pobreza Energética] (2019a). Acceso equitativo a energía de calidad en Chile: hacia un indicador territorializado y tridimensional de pobreza energética. Documento de trabajo n°5, Red de Pobreza Energética

- RedPE [Red de Pobreza Energética] (2019b). Pobreza energética: el acceso desigual a energía de calidad como barrera para el desarrollo en Chile. <http://redesvid.uchile.cl/pobrezaenergetica/documentos-redpe/>
- RedPE [Red de Pobreza Energética] (2020). Vulnerabilidad Energética Territorial: desigualdad más allá del hogar.
- Rekha, V. B., Thomas, A., Suma, M., & Vijith, H. (2011). An Integration of Spatial Information Technology for Groundwater Potential and Quality Investigations in Koduván 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
- Richey, A. S. et al., 2015: Quantifying renewable groundwater stress with GRACE. *Water Resources Research*, 51 (7), 5217-5238, doi:10.1002/2015WR017349.
- Robinson, JD., & Vahedifard, F. (2016). Weakening mechanisms imposed on California's levees under multiyear extreme drought. *CLIMATIC CHANGE*, 137(1), 13. doi: 10.1007/s10584-016-1649-6
- Rogers, B. C., Dunn, G., Hammer, K., Novalia, W., de Haan, F. J., Brown, L., Brown, R. R., Lloyd, S., Urich, C., Wong, T. H. F., & Chesterfield, C. (2020). Water Sensitive Cities Index: A diagnostic tool to assess water sensitivity and guide management actions. *Water Research*, 186, 116411. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116411>
- Sadoff, C.W., Hall, J.W., Grey, D., Aerts, J.C.J.H., Ait-Kadi, M., Brown, C., Cox, A., Dadson, S., Garrick, D., Kelman, J., McCornick, P., Ringler, C., Rosegrant, M., Whittington, D. and Wiberg, D. (2015) *Securing Water, Sustaining Growth: Report of the GWP/OECD Task Force on Water Security and Sustainable Growth*, University of Oxford, UK, 180pp.
- Scovronick, N., Lloyd, S., & Kovats, R. (2015). Climate and health in informal urban settlements. *Environment and Urbanization*, 27(2), 657–678. doi:10.1177/0956247815596502
- SISS. (2017). Informe de Gestión del Sector Sanitario en Chile 2016. Superintendencia de Servicios Sanitarios. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SISS. (2018). Informe de Gestión del Sector Sanitario en Chile 2017. Superintendencia de Servicios Sanitarios, 192
- Smith, A., & Stirling, A. (2008). Social-ecological resilience and socio-technical transitions: critical issues for sustainability governance. Brighton STEPS centre working paper, 8(8), 1–25. <https://doi.org/ISBN 978 185864 5425>
- Staddon, C., Everard, M., Mytton, J., Ottaviani, T., Powell, W., Quinn, N., Uddin, S. M. N., Young, S.L., Miller, J. D., Budds, J., Geere, J., Meehan, K., Charles, K., Stevenson, E. G. J., Vonk, J., & Mizniak, J. (2020). Water insecurity compounds the global coronavirus crisis. *Water International*. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1769345>
- Susnik, J., Vamvakiridou-Lyroudia, LS; Savic, DA., & Kapelan, Z. (2012). Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan

- region. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 440, 16. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.05.085
- Thomson, H., Petticrew, M., y Douglas, M. (2003). Health Impact Assessment of Housing Improvements. *Public Health*, 57(1), 11–16.
- U. N. Water (2013). Water security and the global water agenda: a UN-water analytical brief. Hamilton, ON: UN University.
- 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*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0271-3>
- Urquiza, A., & Billi, M. (2020). Seguridad hídrica y energética en América Latina y el Caribe: Definición y aproximación territorial para el análisis de brechas y riesgos de la población. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 133. disponible en: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/46408/S2000631_es.pdf
- Urquiza, A., & Cadenas, H. (2015). Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. *L’Ordinaire des Amériques*, 218.
- Urquiza, A., Amigo, C., Billi, M., Cortés, J., y Labraña, J. (2019). Gobernanza policéntrica y problemas ambientales en el siglo XXI: desafíos de coordinación social para la distribución de recursos hídricos en Chile. *Persona y Sociedad*, XXXIII (1), 133–160.
- Urquiza, A., Billi, M., Calvo, R., Amigo, C., Navea, J., Monsalve, T., Álamos, N., Neira, C., Rauld, J., Allendes, Á., Arrieta, D., Barrera, V., Basoalto, J., Cárdenas, M., Contreras, M., Fleischmann, M., Horta, D., Labraña, J., Larragubel, C., Winckler, P. (2020a). 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 Sistémicos Transdisciplinarios. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, (ANID/FONDAP/15110009) y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Santiago, Chile.
- Urquiza, A., C. Amigo, M. Billi, R. Calvo, L. Gallardo, C. I. Neira, M. Rojas, (2020b). An Integrated Framework to Streamline Urban Resilience in the context of Climate Risk Assessment. *Under revision*.
- Van Leeuwen, C., Dan, N., & Dieperink, C. (2016). The challenges of water governance in Ho Chi Minh City. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 12(2), 345–352. doi: 10.1002/ieam.1664.
- Verones, F., Saner, D., Pfister, S., Baseiro, D., Rondinini, C., Hellweg, S. (2013). Effects of Consumptive Water Use on Biodiversity in Wetlands of International Importance. *Environ. Sci. Technol.* 2013, 47, 21, 12248–12257. <https://doi.org/10.1021/es403635j>
- Viera, V., O. 2014. ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO ENTRE ALTERNATIVAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA ESVAL S.A., MEDIANTE LA

- MODELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ZONA ACUÍFERA DE LA DESEMBOCADURA DEL RÍO ACONCAGUA. Memoria para optar al Título de: Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso, Chile.
- Ward, P. J., Jongman, B., Aerts, J. C. J. H., Bates, P. D., Botzen, W. J. W., Loaiza, A. D., Hallegatte, S., Kind, J. M., Kwadijk, J., Scussolini, P., & Winsemius, H. C. (2017). A global framework for future costs and benefits of river-flood protection in urban areas. July, 1–7. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE3350>
- WHO [World Health Organization] (2018) Drinking-water. World Health Organization fact sheets. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
- WHO [World Health Organization] (2020a). Environmental cleaning and disinfection in non-healthcare settings in the context of COVID-19. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332097>
- WHO [World Health Organization] (2020b). Water, sanitation, hygiene, and waste management for the COVID-19 virus, Interim guidance. Recuperado de: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IPC-WASH-2020.4>
- Williams, J., Bouzarovski, S., y Swyngedouw, E. (2019) The urban resource nexus: On the politics of relationality, water–energy infrastructure and the fallacy of integration. *EPC: Politics and Space*, 37(4) 652–669.
- Wood, E.A., Douglas, H., Fiore, A.J., Nappy, M.K., Bernier, R., Chapman, K.S. (2019) Perceived water insecurity among adults from urban and peri-urban Haiti: A qualitative study. *PLoS ONE*, 14 (4), e0214790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214790>.
- WSO Consulting Chile LTDA. 2019. Proyecto Actualización de la modelación hidrológica integrada del Aconcagua. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Santiago, Chile.
- Xie, H. Y C. Ringler (2017). Agricultural nutrient loadings to the freshwater environment: the role of climate change and socioeconomic change. *Environmental Research Letters*, 12 (10), 104008, doi:10.1088/1748-9326/aa8148.
- Yenneti, K., Tripathi, S., Wei, Y., 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"
- Zedler, J. B.; Kercher, S. (2005). Wetland resources: Status, trends, ecosystem services, and restorability *Ann. Rev. Environ. Resour.* 30, 39– 74. doi: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144248

ANEXO 1

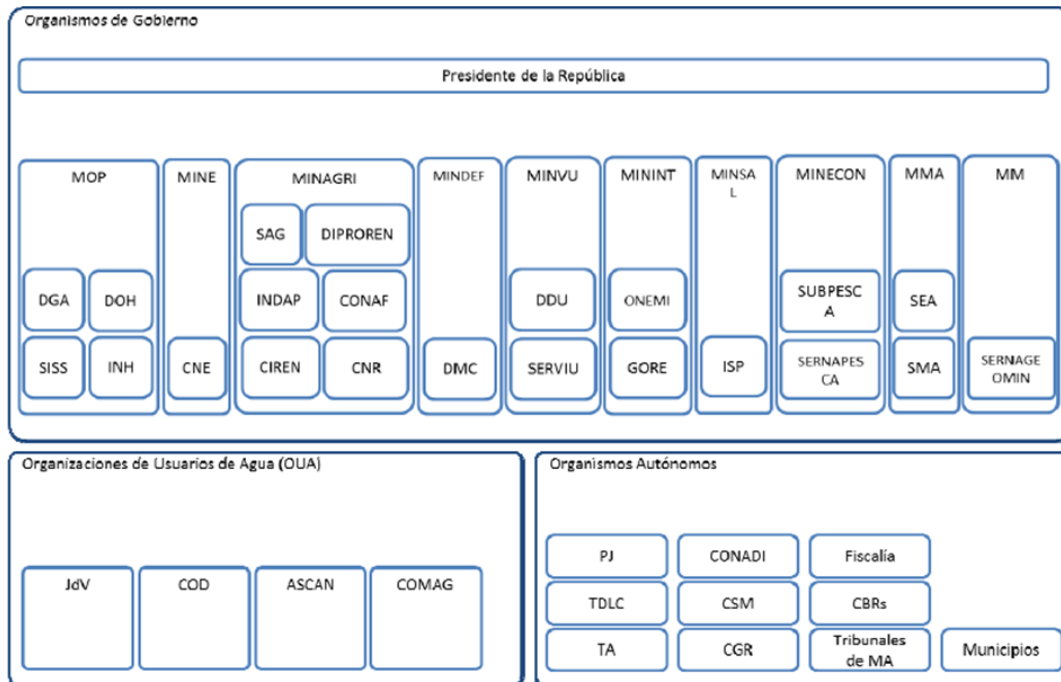


Figura A1. Banco Mundial, 2011

ANEXO 2.

Punto de Captación	Concón	Curauma	Placilla de Peñuelas	Quilpué	Reñaca	Valparaíso	Villa Alemana	Viña del Mar	% del total
RIO ACONCAGUA, 2° Secc. (Nueva Bocatoma)	12%	18%	18%	23%	12%	22%	24%	11%	17%
RIO ACONCAGUA, 2° Secc. (Ant.3° Secc)	18%	27%	27%	35%	18%	33%	36%	16%	26%
CON -CON, 4ta.secc.río Aconcagua	27%	4%	4%	0%	27%	4%	0%	30%	14%
PEÑUELAS	0%	18%	19%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
POZA AZUL	0%	0%	0%	3%	0%	0%	0%	0%	1%
DREN LAS VEGAS	13%	19%	19%	25%	13%	24%	26%	11%	19%
DREN COLMO	5%	1%	1%	0%	5%	1%	0%	6%	3%
SONDAJE LLAY LLAY 1 (LAS VEGAS)	2%	2%	2%	3%	2%	3%	3%	1%	2%
SONDAJE LLAY LLAY 2 (LAS VEGAS)	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
SONDAJE LLAY LLAY 3 (LAS VEGAS)	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Pozo N°4 Bustos	1%	1%	1%	2%	1%	1%	2%	1%	1%
Pozo N°5 Bustos	1%	2%	2%	2%	1%	2%	2%	1%	2%

Pozo N°6 Bustos	1%	2%	2%	3%	1%	3%	3%	1%	2%
sondaje n°1 Las Vegas	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%
SONDAJE ACEDO 13	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
SONDAJE ACEDO 12	2%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	1%
SONDAJE AREGA 25	2%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	1%
SONDAJE ACEDO 17	2%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	1%
SONDAJE ACEDO 18	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
SONDAJE GAETE 24	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	1%
SONDAJE GAETE 22	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
SONDAJE MANTEROLA 11	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SONDAJE MANTEROLA 10	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SONDAJE MAGGI 15	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
SONDAJE MAGGI 14	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
Pozo N°2 Curauma	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	1%
Pozo N°4 Curauma	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	1%
Pozo N°6 Curauma	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	1%
Fuente Sondaje N°6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N°1 Marzan	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Pozo N°2 Marzan	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N°3 Marzan	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N° 20 Manterola	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N° 21 Manterola	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N° 19 Manterola	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
Pozo N° 8 Manterola	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N°7	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SONDAJES COLMO. 4 POZOS IGUALES RESERVA	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
SONDAJES COLMO. 4 POZOS IGUALES RESERVA	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
SP-1. Concón	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Pozo N°1 Curauma	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%
Pozo N°5 Curauma	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Total	8%	3%	2%	16%	5%	23%	12%	31%	

Tabla A1. Porcentaje de agua aportada por cada captación a localidades del Gran Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.



www.nest-r3.com

nest | riesgo
reflexividad
resiliencia