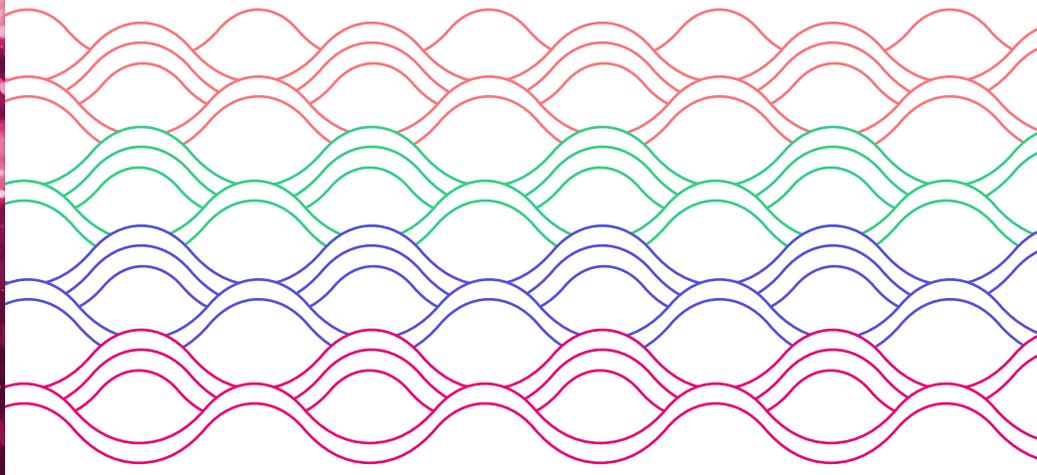




# HOJA DE RUTA PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ALERTA TEMPRANA PARA LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE URBANOS CONCESIONADOS



### Hoja de Ruta:

Para el desarrollo de un Sistema de Supervisión y Alerta Temprana para los servicios de agua potable urbanos concesionados.

### Proyecto CORFO

**Código del proyecto:** 19BP-117371.

**Mandante:** Superintendencia de Servicios Sanitarios.

**Beneficiaria:** Pontificia Universidad Católica de Chile.

*Primera edición, septiembre 2021.*

### Equipo de trabajo:

**Felipe Núñez**, Ingeniero Civil Electricista, Magíster en Ingeniería Eléctrica y Doctor en Ingeniería Eléctrica y Computacional. Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Paula Aguirre**, Ingeniera Civil Mecánica y Doctora en Astrofísica. Profesora Asistente Adjunta, Instituto de Ingeniería Matemática y Computacional, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadora Asociada del Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN).

**Marilyn Bravo**, Ingeniera en Biotecnología y Magíster en Ingeniería Ambiental. Ingeniera de Proyectos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Mario Torres**, Ingeniero Civil Electrónico. Ingeniero de Proyectos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Saúl Langarica**, Ingeniero Eléctrico, Magíster en Ciencias de la Ingeniería y Candidato a Doctor de la PUC. Ingeniero de Proyectos, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Muriel Oyarzún**, Ingeniera en Biotecnología y Magíster en Tecnologías y Empresa. Subdirectora de Vinculación con la Industria, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Juan Carlos de la Llera**, Ingeniero Civil, Magister y Doctor en Ingeniería. Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Estructural y Geotécnica, y Decano de la Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigador Principal del Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN).

### Agradecimientos:

A todo el equipo de la Superintendencia de Servicios Sanitarios y de las empresas sanitarias que han aportado en el desarrollo de este proyecto.

## ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	5
PRÓLOGO .....	6
<b>PARTE I.</b>	
<b>INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE LA HOJA DE RUTA.....</b>	<b>9</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE LA HOJA DE RUTA .....	12
2.1. Objetivos de la Hoja de Ruta .....	12
2.1.1. Objetivo general .....	12
2.1.2. Objetivos específicos .....	12
3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DE LA HOJA DE RUTA .....	12
3.1. Levantamiento de información base.....	13
3.4. Brechas en el sistema de supervisión de agua potable urbano.....	15
3.5. Priorización estratégica para la implementación del sistema de supervisión .....	15
<b>PARTE II.</b>	
<b>CONTEXTO ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DE LOS SERVICIOS SANITARIOS .....</b>	<b>17</b>
4. CONTEXTO ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS .....	18
4.1. Características geográficas.....	18
4.2. Climas y precipitaciones.....	19
4.3. Hidrografía.....	20
4.4. Cambio climático.....	20
4.5. Demografía.....	21
4.6. Actividades económicas .....	21
5. DESAFÍOS PARA LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE URBANOS.....	24
5.1. Efectos del cambio climático en el sector sanitario .....	24
5.2. Efectos del desarrollo urbano en el sector sanitario .....	26
5.3. Efectos del desarrollo económico en el sector sanitario.....	27
6. GESTIÓN DE LOS SERVICIOS SANITARIOS .....	29
6.1. Concesiones sanitarias.....	29
6.2. Empresa de servicios sanitarios.....	29
6.3. Superintendencia de Servicios Sanitarios.....	29
6.4. Proceso de fiscalización de la SISS .....	31
6.5. Protocolos de información.....	33
6.6. Indicadores de la Superintendencia.....	34
6.7. Planes de la SISS: modernización y gestión de riesgo de desastres.....	35
6.8. Tecnologías y gestión de la información en ESS.....	36
<b>PARTE III</b>	
<b>SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ALERTA TEMPRANA .....</b>	<b>39</b>
7. DESCRIPCIÓN DEL SSAT .....	40
8. CASOS DE ÉXITO DE SSAT A NIVEL INTERNACIONAL.....	42
8.1. Barcelona, España.....	42
8.2. Sosnowiec, Polonia.....	42
8.3. Seosan, Corea del Sur.....	43
9. PROTOTIPO DEL SSAT EN LA REGIÓN DE COQUIMBO.....	44
9.1. Módulo de Exploración Geográfica (MEG).....	45
9.2. Módulo de Análisis Predictivo (MAP).....	54
9.2.1. Submódulo de diseño del índice.....	54
9.2.2. Submódulo de rellenado de datos.....	56
9.2.3. Submódulo de predicción.....	57
9.2.4. Submódulo de visualización de resultados.....	58
9.3. Módulo de Reportabilidad Automática (MRA).....	60
10. ANÁLISIS DE BRECHAS EN EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE AGUA POTABLE URBANO CHILENO .....	63
11. PRIORIDADES ESTRATÉGICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN .....	67
11.1. Expansión territorial del SSAT .....	67
11.2. Cambios o innovaciones .....	68
11.3. Beneficios esperados.....	72
11.4. Presupuesto para la implementación del SSAT.....	73
11.4.1. Presupuesto a cinco años.....	73
11.4.2. Presupuesto a diez años .....	73

**PARTE IV.**  
**PERSPECTIVAS FUTURAS.....77**

**12. MODELOS INTERNACIONALES DE ENTIDADES SUPERVISORAS.....78**  
12.1. Reino Unido: Inglaterra y Gales .....78  
12.2. Estados Unidos .....81  
12.3. Corea del Sur.....81

**13. ESTADO DEL ARTE EN TECNOLOGÍA Y SENSORIZACIÓN.....82**

**14. PROPUESTAS FUTURAS PARA EL SECTOR SANITARIO.....84**  
14.1. Smart Water: Sistemas de agua inteligentes.....84  
14.2. Internet de las cosas.....85  
14.3. Modelos predictivos de demanda de agua potable .....86  
14.4. Aplicaciones de blockchain a la gestión del agua.....86  
14.5. Realidad aumentada para el monitoreo de sistemas de agua.....88  
14.6. Gemelos digitales.....88  
14.7. Ciberseguridad en sistemas de agua.....89

**15. CONCLUSIONES .....91**

**16. REFERENCIAS .....93**

**ANEXOS**

**ANEXO A. ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO Y TERRITORIAL.....104**

**ANEXO B. EXPANSIÓN TERRITORIAL DEL SSAT .....105**

**ANEXO C. TABLAS .....112**

**ANEXO D. GRÁFICOS .....117**

**ANEXO E. GLOSARIO .....118**

## RESUMEN EJECUTIVO

Chile es un país altamente vulnerable al cambio climático y a sus potenciales efectos, lo que pone en riesgo la disponibilidad, distribución y calidad del agua potable. A esta amenaza se suman el desarrollo urbano y el desarrollo económico, que plantean desafíos importantes al sector sanitario, para mantener y mejorar la calidad de los servicios sanitarios.

Es la Superintendencia de Servicios Sanitarios el organismo encargado de velar por el buen funcionamiento de los servicios y el cumplimiento de la normativa vigente, por parte de las empresas de servicios sanitarios. En este contexto y para contribuir con su Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020-2030, se ha desarrollado un Sistema de Supervisión y de Alerta Temprana (SSAT) y la presente Hoja de Ruta, para el desarrollo de un sistema de supervisión y alerta temprana para los servicios de agua potable urbanos concesionados. El primer resultado es un sistema informático georeferenciado que permite avanzar hacia el alertamiento temprano y gestionar la información que las empresas sanitarias le entregan por ley a la Superintendencia, promoviendo que la fiscalización de esta entidad sea más oportuna. El segundo resultado se trata de un documento que tiene como objetivos dar una priorización territorial de la expansión del SSAT, proporcionar recomendaciones a corto y mediano plazo para robustecer el sistema de alertamiento y dar a conocer las perspectivas futuras que el sector sanitario debería trabajar a largo plazo, según el estado del arte a nivel internacional.

Este documento se divide en cuatro partes. En la primera se abordan los objetivos de la Hoja de Ruta y la metodología utilizada para su elaboración. En la segunda se muestra el contexto actual de los recursos hídricos, los desafíos para los sistemas de suministro de agua potable urbanos y la gestión de los servicios sanitarios en Chile. En la tercera parte, primero se describen las características y funciones de los sistemas de supervisión y alertamiento temprano, y se indican casos de éxito de estos sistemas a nivel internacional y nacional (prototipo en Coquimbo). Luego, en base a la información anterior, se indican las brechas de los sistemas de supervisión en Chile y se define una expansión del SSAT a nivel nacional, se recomiendan cambios e innovaciones, y se señalan los beneficios y presupuesto que conllevarían la ejecución de la Hoja de Ruta. Finalmente, en la cuarta parte se plantean modelos internacionales de entidades supervisoras como la SISS, se desarrolla el estado del arte en tecnología y sensorización, se definen propuestas que debieran implementarse en el sector sanitario a largo plazo y, finalmente, se señalan las conclusiones del presente documento.

## PRÓLOGO

Con motivo de la “Tercera Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre la Reducción del Riesgo de Desastres”, más de 185 Estados han reforzado su compromiso de abordar la reducción del riesgo de desastres en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza, y de integrar como corresponda tanto la reducción del riesgo de desastres como el aumento de la resiliencia en las políticas, los planes, los programas y los presupuestos a todos los niveles.

Este compromiso se ha plasmado en el denominado “**Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030**”, en el cual se han acordado siete metas mundiales, entre las que destaca la meta “d” que invita a reducir considerablemente los daños causados por los desastres en las infraestructuras vitales y la interrupción de los servicios básicos.

Para lograr avanzar en las siete metas, se ha determinado en dicho compromiso que los Estados deben adoptar medidas específicas con respecto a las siguientes cuatro prioridades:

- **Prioridad 1:** Comprender el riesgo de desastres.
- **Prioridad 2:** Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres para gestionar dicho riesgo.
- **Prioridad 3:** Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia.
- **Prioridad 4:** Aumentar la preparación para casos de desastre a fin de dar una respuesta eficaz y para “reconstruir mejor” en los ámbitos de la recuperación, la rehabilitación y la reconstrucción.

Para cumplir con el compromiso suscrito, Chile, al alero de la Plataforma Nacional para la Reducción de Riesgos de Desastres liderada por ONEMI, y en donde la Superintendencia de Servicios Sanitarios tiene un rol activo, ha construido la “**Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030**”, que tiene como objetivo el establecer las directrices para fortalecer la Gestión de Riesgo de Desastres, impulsadas y coordinadas desde el Estado de Chile, que consideren todo el ciclo de gestión del riesgo, fomentando una articulación sinérgica entre los diversos actores de la sociedad, en pos del desarrollo sostenible y el carácter resiliente de territorios y comunidades.

Esta Política cuenta con una arquitectura que se sustenta en cinco ejes prioritarios, en línea con lo establecido en el Marco de Sendai, a saber:

- **Eje 1:** Comprender el Riesgo de Desastres.
- **Eje 2:** Fortalecer la Gobernanza de la Gestión del Riesgo de Desastres.
- **Eje 3:** Planificar e Invertir en la Reducción del Riesgo de Desastres para la Resiliencia.
- **Eje 4:** Proporcionar una Respuesta Eficaz y Eficaz.
- **Eje 5:** Fomentar una Recuperación Sostenible

En plena sintonía con lo anterior, y con el objetivo de fortalecer el marco regulador en materias asociadas a la Gestión Integral del Riesgo de Desastres en el Sector de Sanitario, la Superintendencia de Servicios Sanitarios ha liderado el proceso de co-construcción del denominado “**Plan Estratégico Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020 -2030**”, que emerge como el documento guía que detalla en 42 acciones precisas las materias mínimas que deberán ser abordadas por el sector sanitario desde hoy y con miras al 2030 en materias relacionadas con la Gestión y Reducción del Riesgo de Desastres.

En particular, y dentro del eje 2, que invita a **fortalecer la gobernanza de la gestión del riesgo de desastres en el sector sanitario**, se ha definido la acción 2.2.4 tendiente a desarrollar herramientas informáticas que permitan obtener indicadores con objeto de cuantificar el riesgo, para poder llevar a cabo fiscalización en base a evidencia. Dicha acción ostenta como meta concreta el desarrollo de herramienta informática que considere los protocolos de información regulares desde las empresas a la SISS, y que entregue indicadores que permitan alertar respecto de aspectos de calidad de servicios sanitarios urbanos.

Del mismo modo, en el Eje 4, orientado a **proporcionar una respuesta eficiente y eficaz frente a eventos que afecten al sector sanitario**, se ha definido la acción 4.1.2 que invita a **desarrollar, robustecer e integrar los sistemas de monitoreo y alerta temprana multiamenazas que garanticen información oportuna y accesible.**

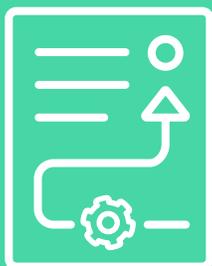
En ese contexto, como primer impulso en el desarrollo de las acciones antes mencionadas, y en una colaboración estrecha entre la Superintendencia de Servicios Sanitarios y la Pontificia Universidad Católica de Chile, se ha desarrollado el estudio denominado “**Sistema de supervisión y alerta temprana para los servicios de agua potable urbanos concesionados**”, el cual tiene por objetivos principales los siguientes:

- Construir un prototipo operativo de sistema de monitoreo, que permita mediante el análisis automático de las bases de datos de calidad de servicio que administra la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el proporcionar información a los equipos de la SISS para poder orientar su acción fiscalizadora.
- Identificar las principales brechas y desafíos futuros para una supervisión eficiente de los servicios de agua potable urbanos, en el contexto de cambio climático y sus efectos sobre los recursos hídricos.
- Proponer un itinerario a corto y mediano plazo para instaurar en la SISS un modelo de supervisión y fiscalización de los sistemas de agua potable basado en la evidencia.

Finalmente, en su espíritu, el prototipo construido, así como los lineamientos definidos, están orientados a modernizar la labor fiscalizadora de la SISS, incorporando herramientas de análisis automático, en sintonía con las iniciativas que se realizan actualmente en países más avanzados, fomentando con instrumentos como el aquí presentado, la incorporación cada vez más activa de la reducción del riesgo de desastres y el aumento de la resiliencia, en la labor fiscalizadora de la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

*Sergio Barbera Pérez*  
**Jefe Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres, SISS**

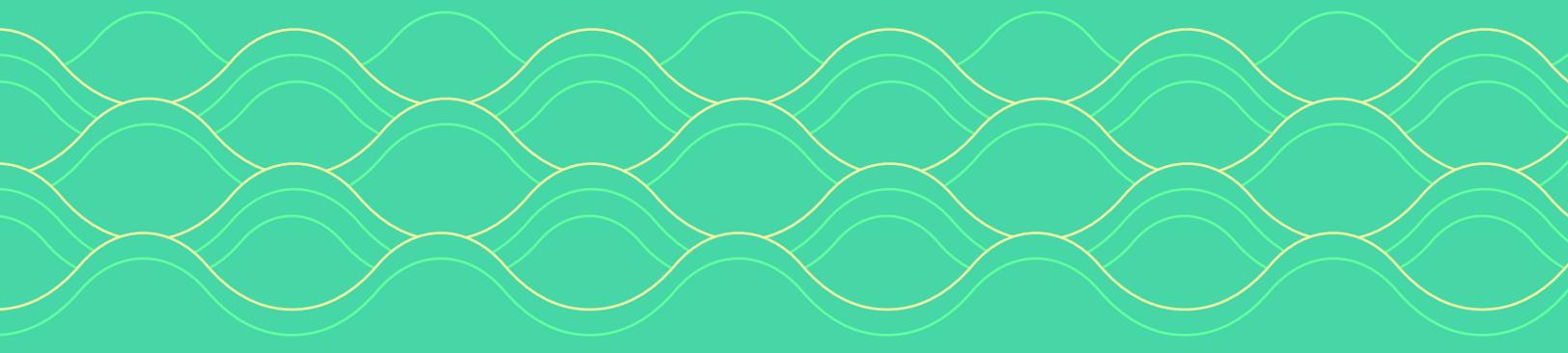




## PARTE I.

---

# INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE LA HOJA DE RUTA



## 1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso limitado y a pesar de que cubre el 70% de la superficie del planeta, únicamente el 2,5% corresponde al agua de ríos, lagos y acuíferos, y solo el 0,62% es apta para el consumo humano, agrícola e industrial. La conservación de este recurso, en términos cualitativos y cuantitativos, es esencial para los ecosistemas y la vida de los seres humanos. Por este motivo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) reconoce el acceso al agua potable como un derecho humano e incluye dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030 el de Agua Limpia y Saneamiento (objetivo 6), que apunta a garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para toda la población al 2030 (INE, 2017; ONU, 2020).

Actualmente, el mayor porcentaje de la población mundial se concentra en zonas urbanas. En Chile alcanza el 87,8% (INE, 2017), por lo que asegurar la calidad y continuidad del servicio de agua potable urbano es primordial para garantizar la salud de la población y para cumplir con lo planteado en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, a la cual Chile se suscribió en 2015.

En Chile, las encargadas del abastecimiento del agua potable urbano y la recolección y tratamiento de aguas servidas son las empresas de servicios sanitarios. Actualmente son cincuenta y tres empresas activas, las cuales son operadas en su mayoría por el sector privado como concesiones y deben entregar un servicio a los clientes, acorde a la normativa vigente y cumpliendo con los parámetros establecidos en los contratos de concesión. La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) es el organismo del Estado encargado de vigilar que las empresas sanitarias presten los servicios sanitarios concesionados de agua potable y saneamiento, con la calidad y continuidad establecida en la normativa vigente. Para esto cuenta con indicadores relacionados con la calidad del servicio, los cuales se calculan a partir de los datos informados por las sanitarias, a través de los denominados protocolos de información. Por otro lado, la SISS realiza un estudio de percepción de los clientes sobre la calidad de los servicios que entregan las sanitarias, basado en encuestas. Esta percepción ha decrecido en el tiempo y se ha mantenido en torno al 30% en los últimos años. A pesar de que la cobertura de agua potable urbana en Chile supera el 99,9% y la de alcantarillado alcanza el 97,2% en los territorios concesionados, la baja satisfacción de los clientes es algo que se debe trabajar (SISS, 2020d).

Adicionalmente a lo anterior, la capacidad para mantener un suministro de agua potable constante está sujeta a riesgo, debido, entre otros, a los efectos del cambio climático, los cuales impactan no solo la cantidad, sino también la calidad

del agua disponible para ser potabilizada, especialmente en las zonas más vulnerables. Chile está catalogado como un país altamente vulnerable al cambio climático, cumpliendo con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad enunciados por la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Lo anterior, pues posee áreas costeras de baja altura, zonas áridas y semiáridas, zonas de bosques, territorio susceptible a desastres naturales, áreas propensas a sequía y desertificación, áreas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos. Esta situación es agudizada por el crecimiento de la población y la urbanización, y el intensivo consumo de agua por parte de las diversas actividades económicas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), para el año 2025 la mitad de la población mundial vivirá en áreas con escasez hídrica, y Chile para ese mismo año aparece dentro de los treinta países con mayor riesgo hídrico en el mundo (MMA, 2017; OMS, 2019; WRI, 2015).

En este escenario complejo, la SISS se enfrenta al desafío de fortalecer su rol fiscalizador de la mejor manera posible, considerando las limitaciones que enfrenta tanto en recursos humanos como materiales. La incorporación de tecnología en la operación de la SISS aparece como la alternativa natural para hacer un uso eficiente de los recursos escasos y de esa forma aumentar el impacto que las fiscalizaciones tienen en la calidad de servicio entregada a los consumidores finales. Consciente de estos desafíos y en el marco de la Agenda del Sector Sanitario 2030, la SISS, con participación de las empresas sanitarias, ha liderado la construcción del denominado “Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020-2030” (SISS, 2020b). Dicho plan define cuarenta y dos acciones a ser abordadas por el sector sanitario en su conjunto, las cuales, al ser desarrolladas —se estima—, tiendan a aumentar la resiliencia del sector sanitario frente a eventos de desastre.

En particular, la **Acción 2.2.4 indica: “Desarrollo de herramienta informática que permita obtener indicadores con objeto de cuantificar el riesgo, para poder llevar a cabo fiscalización en base a evidencia”**. Para ello se ha iniciado este proyecto que, en una de sus dos dimensiones, busca construir un prototipo de Sistemas de Supervisión y Alerta Temprana (SSAT), como una herramienta para apoyar en la focalización de la fiscalización. El SSAT se basa en una arquitectura distribuida geográficamente, capaz de capturar datos y tomar decisiones en base a la información inferida por modelos y por los datos proporcionados por las empresas sanitarias, a través de los protocolos. Será operado y gestionado por la SISS, con la finalidad de optimizar sus recursos de capital humano, mejorando la eficiencia y eficacia en el proceso de

fiscalización, y modernizando y automatizando el análisis de los datos entregados por las sanitarias. De esta forma, el SSAT habilitará a la SISS para instaurar un proceso de fiscalización basado en la evidencia y enfocado en la detección temprana de anomalías en el servicio y la acción oportuna para asegurar un suministro de agua potable continuo, de calidad, confiable y seguro para la población. Ello impactará positivamente la calidad de vida de las personas, la salud pública y la percepción de los clientes.

A partir del prototipo a escala regional desarrollado para el SSAT, se espera que el presente proyecto permita proyectar desafíos futuros respecto a:

El escalamiento conceptual del prototipo escala regional del SSAT a un sistema a escala nacional.

- Avanzar en la incorporación de más fuentes de información y en la automatización y estandarización de la recepción, validación y análisis de los protocolos de información.
- Hacer disponible la información que proporciona el SSAT a la ciudadanía, de una manera amigable e interactiva.
- Tender a un sistema que se ajuste a los estándares de los países desarrollados, en relación con la captura, validación y análisis automático de los datos.

Por último, es importante destacar que esta herramienta podría ser adoptada como modelo por otras entidades fiscalizadoras similares a la SISS, para aumentar sus capacidades supervisoras.

En una segunda dimensión de este proyecto, relacionada con la **Acción 4.1.1 —que indica: “Desarrollar, robustecer e integrar los sistemas de monitoreo y alerta temprana multiamenazas que garanticen información oportuna y accesible”**—, el presente proyecto se hace cargo mediante el establecimiento de las perspectivas futuras para el sector sanitario. En este, mediante una revisión del estado del arte, se encontraron modelos exitosos de entidades supervisoras a nivel internacional, que pueden ser un buen referente para la Superintendencia. Además se presenta el avance tecnológico en cuanto a sensorización y propuestas a largo plazo para el sector, como, por ejemplo, los sistemas de gestión de agua inteligentes, que requieren de otras temáticas como son: Internet de las cosas, modelos predictivos de demanda de agua potable, *blockchain*, realidad aumentada, gemelos digitales y ciberseguridad. Esto le proporciona información a la Superintendencia, para identificar oportunidades y desafíos, que pueden servir de insumo en sus planes y así mejorar y robustecer sus actuales sistemas de monitoreo y gestión.

## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA DE LA HOJA DE RUTA

En este capítulo se abordan los objetivos de la Hoja de Ruta y la metodología utilizada para su elaboración.

### 2.1. Objetivos de la Hoja de Ruta

#### 2.1.1. Objetivo general

Esta Hoja de Ruta pone a disposición de la Superintendencia de Servicios Sanitarios y de los distintos actores del sistema nacional de gestión de agua potable urbano un conjunto de **propuestas de innovación tecnológica y operativa a corto y mediano plazo**. Se busca que este permita avanzar hacia un modelo de supervisión y fiscalización de los sistemas de agua potable urbanos más preciso y eficiente, basado en la evidencia y orientado a la acción oportuna y a la gestión de riesgos asociados a eventos naturales y antrópicos. De esta manera, la Hoja de Ruta contribuye al fortalecimiento de las competencias y capacidades para la gestión del riesgo de desastres en el sector sanitario, establecido como uno de los ejes prioritarios de la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020-2030.

#### 2.1.2. Objetivos específicos

La ruta hacia un sistema de supervisión de agua potable urbano eficiente y moderno toma como punto de partida el desarrollo de un prototipo del Sistema de Supervisión y Alerta Temprana. Este permitirá a la SISS optimizar los recursos e información disponibles actualmente para implementar planes de fiscalización basados en riesgos, y actuar en conjunto con las empresas sanitarias para adelantarse o responder de manera eficiente y eficaz a contingencias en el servicio. Por lo tanto, los objetivos específicos tienen relación **con la implementación y expansión a corto plazo del SSAT** y también con la propuesta de otras innovaciones tecnológicas a corto y mediano plazo, para una transformación virtuosa del modelo de supervisión de los servicios de agua potable urbanos chilenos. Estos son:

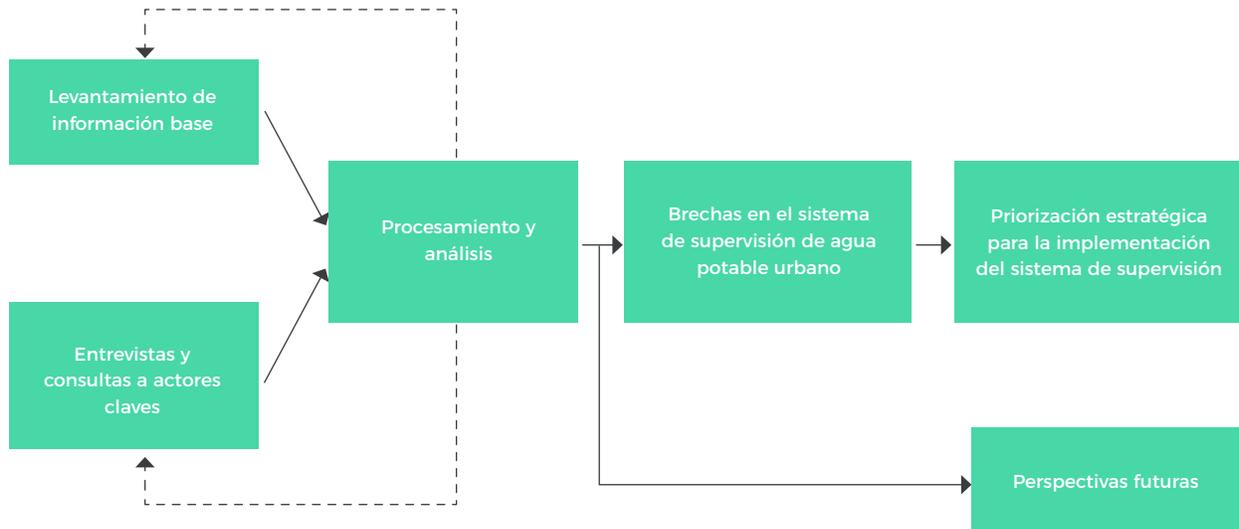
- Definir una priorización territorial y planificación estratégica para el escalamiento e implementación del SSAT a nivel nacional.
- Establecer requerimientos técnicos, organizacionales y regulatorios para la implementación del SSAT de acuerdo con la priorización propuesta.
- Identificar las principales brechas y desafíos futuros para una supervisión eficiente de los servicios de agua potable urbanos, en el contexto de cambio climático y sus efectos sobre los recursos hídricos.
- Proponer un itinerario a corto y mediano plazo para instaurar en la SISS un modelo de supervisión y fiscalización de los sistemas de agua potable, basado en la evidencia y acorde al estado del arte mundial, que permita anticipar contingencias en el servicio.
- Proponer futuros cambios tecnológicos para el sector sanitario, en la línea de lo que respecta al presente proyecto.

## 3. METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DE LA HOJA DE RUTA

La Hoja de Ruta fue desarrollada en paralelo al diseño e implementación del prototipo del SSAT, a modo de integrar desde el origen el levantamiento de información y necesidades de la SISS, con el análisis de riesgos, brechas y oportunidades para el sistema de supervisión de agua potable urbano y con las visiones de otros actores clave como las empresas sanitarias.

La Hoja de Ruta fue realizada en seis etapas, como se muestra en la Figura 1. Primero se efectuó un levantamiento de la información de base, incluyendo un estudio del estado del arte de las tecnologías y procesos aplicados a nivel global para la supervisión exitosa de sistemas de agua potable urbanos, que en paralelo fue complementado con entrevistas y consultas a actores clave de la SISS y empresas sanitarias. Los datos

Figura 1. Etapas en la construcción de la Hoja de Ruta.



y retroalimentación generados en estas etapas fueron procesados y analizados para identificar las principales brechas del actual sistema de supervisión y fiscalización del sistema de agua potable urbano en Chile, y para plantear un conjunto de acciones y priorización estratégica a corto (cinco años) y mediano plazo (diez años), para salvar dichas brechas y lograr los objetivos planteados anteriormente. Finalmente, se revisaron experiencias exitosas a nivel internacional y se definieron propuestas futuras que el sector sanitario debería trabajar.

A continuación, se detalla cada una de las etapas.

### 3.1. Levantamiento de información base

Como insumo para el análisis se recopiló información proveniente de fuentes públicas, literatura científica e informes recientes, relativa a las características geográficas, climáticas y demográficas de Chile, y de la evolución del consumo de agua potable urbana y desarrollo económico en el país. Además, se realizó un levantamiento de información sobre el cambio climático y sus efectos a escala global y regional (Chile), así como sus impactos sobre el sector sanitario.

Para analizar la organización del sistema sanitario y la gestión del agua potable urbana en Chile, se recurrió a información en páginas web de las sanitarias y de la SISS, y a documentación aportada directamente por esta última entidad, como son: informes, programa de fiscalización, leyes, organigrama, listado de funcionarios por área, entre otros. Esto fue de utilidad para revisar información sobre la actual gestión del agua potable en Chile, como las funciones y procesos internos de las empresas sanitarias y de la SISS, oferta y demanda de agua potable urbana, políticas, acceso al agua potable, proceso de producción de agua potable, etc.

Por último, se realizó una revisión de literatura científica y técnica internacional para examinar el estado del arte en sensorización, tecnologías y metodologías analíticas para la gestión y supervisión de los servicios sanitarios, en modelos de operación de entidades supervisoras líderes a nivel mundial y en tecnología incipiente que podría ser aplicada al sector sanitario, a largo plazo.

### 3.2. Entrevistas y consultas a actores clave

Para el levantamiento de información y necesidades de la SISS, se realizaron entrevistas a funcionarios de la Unidad de Tecnologías y Sistemas, y de distintas áreas de la División de Fiscalización. En relación con esta última, se concertaron reuniones con la Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres y con las Áreas Comercial, Técnica y de Oficinas Regionales. Estas entrevistas y consultas sirvieron para complementar y apoyar la información recabada en la etapa 3.1, pues se abordaron las funciones y procesos de la SISS, sus capacitaciones internas, la tecnología y sistemas utilizados, la labor que realizan las distintas áreas, divisiones y unidades, tanto de gabinete como de terreno, y los planes y políticas actuales y futuros. Asimismo, se resolvieron dudas relacionadas con los datos suministrados por las sanitarias a la SISS, a través de los protocolos de información. Adicionalmente, se fue mostrando sucesivamente el diseño e implementación del prototipo del SSAT para aplicar cuestionarios a futuros usuarios y recibir retroalimentación en cuanto a su funcionalidad, usabilidad y apariencia.

De forma paralela y con el apoyo de la SISS, se elaboró un plan de reuniones con las empresas sanitarias, con el fin de conocer las tecnologías y los sensores utilizados actualmente por estas empresas, sus planes de gestión de riesgo y emergencias, los procesos de generación y

entrega de información a la SISS, y las estrategias de mejoramiento del servicio. Dada la variedad de temas a tratar, se procuró recoger la visión de distintas áreas, que incluyeron gerencias, operaciones e informática. Se logró recoger visiones e información de las empresas Aguas del Altiplano, Aguas Araucanía, Aguas Magallanes, Aguas Nueva Atacama, Aguas Andinas, Aguas Cordillera, Aguas Manquehue, Essal, Essbio y Aguas Nuevo Sur Maule.

### 3.3. Procesamiento y análisis

Como se sintetiza en la Figura 2, esta etapa comprendió cuatro dimensiones: riesgo climático y territorial, tecnológico, institucional y regulatorio. Para cada una de estas dimensiones, se analizó la información recabada de las distintas fuentes descritas en la etapa 3.1 y la información obtenida de las entrevistas y consultas a actores clave, etapa 3.2.

En relación con el análisis de riesgo climático y territorial, se identificaron tres amenazas a las cuales se ve expuesto el sistema sanitario: cambio climático, desarrollo urbano y desarrollo económico, las cuales ponen en riesgo el suministro continuo de agua potable urbano y la adecuada calidad para el consumo humano. Una vez determinadas las amenazas, se identificaron los efectos que producen cada una de estas y los impactos sobre el sector sanitario, ya sea

Figura 2. Dimensiones del procesamiento y análisis de la información



directamente en el recurso hídrico (calidad y/o cantidad) y/o en la infraestructura sanitaria. En este proceso se identificaron siete efectos debido al cambio climático, dos producto del desarrollo urbano y uno debido al desarrollo económico. Para revisar los detalles de este análisis, véase el Anexo A. En cuanto al análisis tecnológico, se revisó y contrastó la información recabada en cuanto a tecnología y sensorización a nivel internacional con la información obtenida a nivel nacional, desde la SISS y las sanitarias.

Para el análisis institucional se analizaron los documentos entregados por la SISS, lo que sirvió para entender las funciones de las distintas áreas y funcionarios. Asimismo, se comprendieron sus procesos internos, como la recepción, la validación y el análisis de la información enviada por las sanitarias, el proceso de fiscalización, sus capacitaciones, etc. También se examinó la información obtenida de las empresas sanitarias para comprender su funcionamiento interno, las estrategias de mejoramiento del servicio, los planes de inteligencia operacional y los procesos que relacionan a las sanitarias con la SISS.

Finalmente, en el plano regulatorio, se estudiaron las leyes y decretos relacionados con el sector sanitario y se revisaron los protocolos solicitados por la SISS a las sanitarias.

### **3.4. Brechas en el sistema de supervisión de agua potable urbano**

Una vez realizado el análisis anterior, se determinaron las brechas a enfrentar para proyectar la implementación de manera óptima del SSAT a nivel nacional y para mejorar las tecnologías y prácticas de supervisión del servicio sanitario, llevándolo a un servicio de un estándar superior al actual. Esto tanto en los ámbitos tecnológico, institucional y regulatorio, de acuerdo con el estado del arte y mejores modelos aplicados en el extranjero, y considerando la realidad chilena.

### **3.5. Priorización estratégica para la implementación del sistema de supervisión**

Esta etapa tiene que ver con la expansión territorial recomendada del SSAT a nivel nacional y sobre los cambios tecnológicos, organizacionales y regulatorios que deben llevarse a cabo, junto a un presupuesto para un horizonte temporal a corto y mediano plazo.

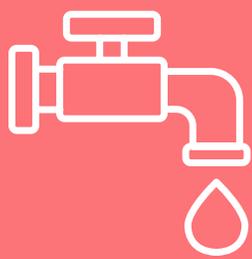
La priorización territorial se hizo en función de los efectos del cambio climático, desarrollo urbano y territorial, y considerando el proceso de análisis jerárquico (PAJ) (Averna et al., 2017; Galacho y Arrebola, 2013; Mendoza y Orozco, 2014; Moreno, 2002; Pérez-Rodríguez et al., 2012; Pujada et al., 2017). Esta metodología se basa en la asignación de distintos pesos a cada uno de los efectos, para obtener un indicador ponderado del nivel de impacto combinado de las tres amenazas sobre el suministro de agua potable en cada región, que luego es utilizado para construir un ranking nacional. Para más detalles, véase el Anexo B.

Luego de esto y en base a las brechas determinadas en la etapa 3.4 se proponen los cambios tecnológicos, organizacionales y regulatorios en pro de apoyar y modernizar la labor de fiscalización de la SISS.

### **3.6. Perspectivas futuras**

Con la información recopilada en 3.1, en relación con el estado del arte tecnológico y los modelos internacionales de supervisión de los servicios sanitarios, se definieron las perspectivas futuras que pueden ser utilizadas por el sector sanitario.

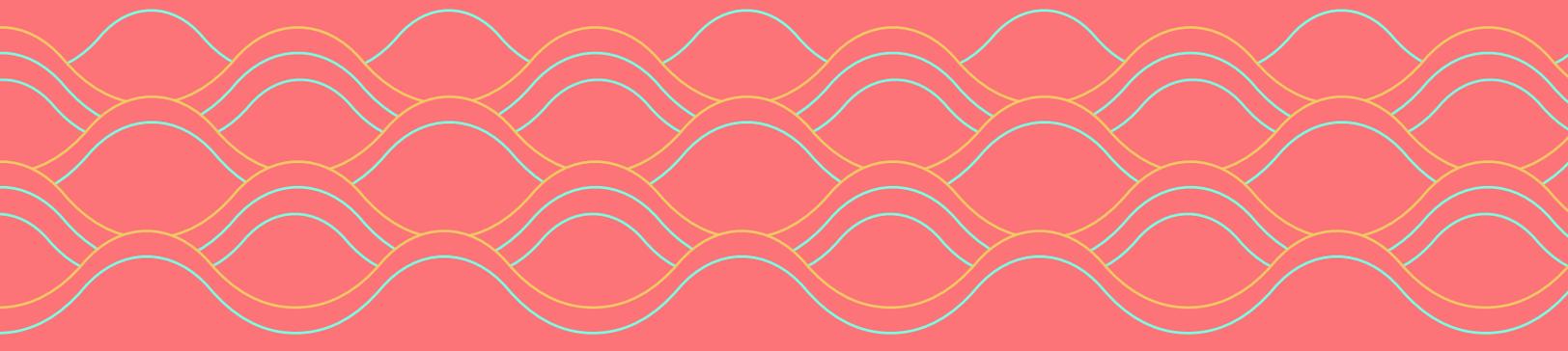




## PARTE II.

---

# CONTEXTO ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y DE LOS SERVICIOS SANITARIOS



En esta parte se aborda el contexto actual de la disponibilidad y demanda de los recursos hídricos en Chile, de los servicios sanitarios y del impacto que el cambio climático puede tener sobre estos ámbitos a nivel nacional. Para ello, se identifican primero las condiciones geográficas, climáticas, hidrográficas, de cambio climático, demográficas y económicas de todo el territorio nacional. Luego, se analizan los desafíos que conllevan para los sistemas de agua potable urbanos los efectos del cambio climático y del desarrollo urbano y económico, proyectados para distintas regiones del país. Finalmente, y para poner en contexto el actual sector sanitario chileno, se describe el régimen vigente de concesiones, las características y los roles de las empresas de servicios sanitarios (ESS) operativas y de la entidad fiscalizadora de estas empresas sanitarias, materializada en la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). En particular, las funciones de esta entidad, su vinculación con las ESS, las etapas de la prestación de los servicios sanitarios y los actuales planes, en relación con su modernización y gestión de riesgo.

Estos antecedentes constituyen una base para comprender la actual situación de los recursos hídricos y de la prestación de los servicios sanitarios en Chile, y sirven como insumo para las siguientes partes del documento. Por un lado, contribuyen al análisis realizado para escalar el prototipo del SSAT implementado en la Región de Coquimbo a nivel nacional, considerando el riesgo hídrico causado por el cambio climático y los desarrollos urbano y económico. Asimismo, estos antecedentes ayudan a identificar las brechas existentes en el sector sanitario chileno y sus desafíos a corto y mediano plazo en temas como la supervisión de los sistemas de agua potable, el análisis automático de los datos, el alertamiento temprano y la anticipación de situaciones anómalas y fallas de suministro.

## 4. CONTEXTO ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

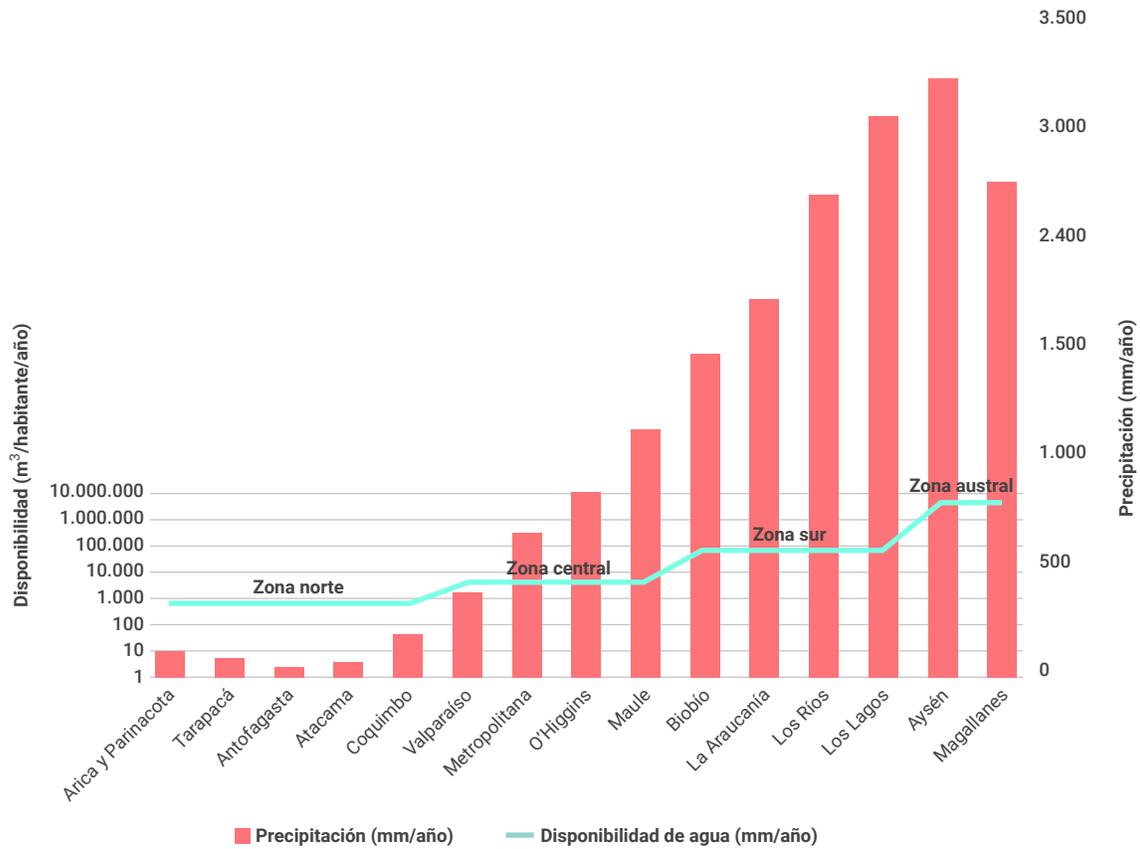
Chile es una república dividida en tres niveles territoriales de gobierno: regiones (16), provincias (54) y comunas (346). Según el censo del año 2017, su población es de 17.574.003 habitantes (INE, 2018). Es un país tricontinental que tiene soberanía sobre tres continentes: América, Antártica y Oceanía. Cuenta con una superficie total de 2.006.096 km<sup>2</sup>, la cual incluye 755.915 km<sup>2</sup> que corresponden al territorio en América del Sur, 1.250.000 km<sup>2</sup> al ubicado en la Antártica y 181 km<sup>2</sup> en Oceanía. El largo de Chile, correspondiente al territorio de América del Sur, es de 4.270 km y su anchura promedio es de 180 km. Limita al norte con Perú, al este con Bolivia y Argentina, al sur con el polo sur y al oeste con el océano Pacífico (INE, 2014).

### 4.1. Características geográficas

El relieve de Chile está definido por cuatro formas predominantes: la cordillera de los Andes, la depresión intermedia, la cordillera de la Costa y las planicies litorales. Estas estructuras crean una morfología tal que influye en el camino de los ríos, produciendo un sistema de aguas de naturaleza compleja.

Ambas cordilleras corren paralelas entre sí, de norte a sur, en casi todo el territorio chileno. Están separadas por la depresión intermedia, la cual contiene una rica región agrícola y alberga la mayor parte de la población, el resto de la cual se distribuye en las planicies litorales. La gran altura de la cordillera de los Andes hace que actúe como una barrera natural ante sistemas frontales que se aproximen desde el oeste (Donoso, 2018).

**Figura 3.** Precipitación media anual distribuida por regiones y disponibilidad del recurso hídrico en m<sup>3</sup>/habitante/año, por zona. Fuente: DGA, 2015; OECD, 2017.



#### 4.2. Climas y precipitaciones

La ubicación y la extensión latitudinal de Chile dan origen a una gran variedad de climas, a excepción del tropical húmedo. En el norte, desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región de Coquimbo, predominan los climas áridos y semiáridos, mientras que, en la zona central, preponderan los climas templados. En la zona sur, desde la Región de la Araucanía a la de Aysén y Magallanes, prevalecen los climas fríos y lluviosos, y hacia la cordillera de los Andes se presenta un clima polar, al igual que en el territorio antártico chileno, tal y como se señala en la Figura 5. Debido a esta extensión latitudinal, gran parte del territorio chileno se ubica en una zona de transición climática, por lo que hay consenso de que es un país muy vulnerable al cambio climático (BCN, 2020; INE, 2017; Donoso, 2018).

A pesar de esta vulnerabilidad climática, Chile en su conjunto es considerado un país privilegiado en recursos hídricos, siendo el promedio de las precipitaciones de 1.525 mm/año y la esorrentía promedio per cápita de 51.218 m<sup>3</sup>/persona/año, valor muy superior al promedio mundial de 6.600 m<sup>3</sup>/persona/año y a los 2.000 m<sup>3</sup>/persona/año considerado internacionalmente como el umbral para el desarrollo sostenible. Sin embargo, cuando se analizan las precipitaciones por región y la disponibilidad de agua por zonas, es evidente la heterogeneidad hídrica, tal y como se observa en la Figura 3. En el norte y centro hay condiciones de escasez hídrica, mientras que en las zonas sur y austral hay mayor disponibilidad de agua, aunque con algunas disparidades en la zona central y diferencias en la estacionalidad, siendo los meses de invierno los más lluviosos (OECD, 2017).

Por otro lado, la calidad del agua cruda, que es utilizada para producir agua potable, también es diversa, lo que conlleva que las sanitarias deban realizar distintos tratamientos para obtener agua que cumpla con la Norma de Calidad del Agua Potable (NCh 409; INN, 2020).

### 4.3. Hidrografía

La diversidad geográfica y climática del territorio chileno influye en el régimen y caudal de las aguas (Donoso, 2018; INE, 2017), propiciando diferentes mecanismos de generación de escorrentía, así como diversos patrones de variabilidad estacional e interanual. Por lo tanto, la producción de agua potable en cada cuenca utiliza distintas fuentes de agua cruda, dependiendo de la disponibilidad de agua en la zona, de la calidad del agua cruda y de la factibilidad técnica y económica de explotar este recurso.

Como se muestra en la Figura 5, en el norte, el agua se potabiliza principalmente a partir de aguas subterráneas, con la excepción de la Región de Antofagasta, donde un alto porcentaje del agua potable se produce a partir del agua de mar desalinizada. En la zona centro, el abastecimiento es mixto (aguas subterráneas y superficiales) y en el sur el agua cruda proviene principalmente de agua superficial, ya que existe en abundancia y es de buena calidad, por lo que no requiere de demasiados tratamientos. A nivel nacional, para el año 2019 la capacidad total de producción de agua potable fue de 101,827 m<sup>3</sup>/s, de los cuales el 55,06% proviene de aguas subterráneas, el 43,94% viene de aguas superficiales y el 1,0% de agua de mar. Si bien la producción total ha aumentado a una tasa aproximada del 10% en los últimos cinco años, la relación entre tipos de fuentes no ha variado mayormente a lo largo de los años (SISS, 2020d).

### 4.4. Cambio climático

El cambio climático es un fenómeno inevitable e irreversible a mediano plazo, y su efecto más directo es el aumento de la temperatura promedio del planeta, que resulta en el derretimiento de glaciares, la elevación del nivel del mar, oleajes de mayor altura, inundaciones fluviales y costeras, acidez en los océanos, cambios en la dirección e intensificación de los vientos, degradación del permafrost y en general mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos, como sequías, precipitaciones intensas, huracanes, fenómenos del Niño y la Niña, marejadas, etc. (CCG-UC, 2013; PUC et al., 2013; IPCC, 2014).

Chile es un país altamente vulnerable a los impactos del cambio climático; esto se deja estipulado en el art. 4.8 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC), en que se expone que su costa se encuentra a baja altura, lo que la vuelve susceptible al aumento del nivel del mar y a los cambios de oleaje.

Asimismo, es susceptible a eventos extremos como terremotos, tsunamis e incendios forestales; tiene áreas que son propensas a sequías y desertificación, varias ciudades con altos niveles de contaminación atmosférica, sus ecosistemas son montañosos y sus principales actividades socioeconómicas (ejemplo: la agricultura) tienen mucha dependencia del clima (CCG-UC, 2013). A continuación, se detallan las afectaciones que sufrirán los distintos elementos climáticos en Chile:

#### Temperatura

Se proyecta un aumento de la temperatura entre 2 a 4 °C, especialmente en la zona central y en particular en los valles y la precordillera, áreas que están lejos de la influencia regulatoria del océano Pacífico. Además, se estiman más episodios de olas de calor (PUC et al., 2013; IPCC, 2014). El aumento de las temperaturas implica una menor acumulación de nieve en las altas cumbres, lo que produce un impacto adicional en la disponibilidad de agua (CNID, 2016)

#### Precipitaciones

En general, las precipitaciones disminuirán en Chile, tanto las de agua como las de aguanieve. Esto último, porque las precipitaciones se están produciendo a isothermas más altas, dando lugar con mayor frecuencia a las “tormentas cálidas”, con el consecuente riesgo de inundaciones, crecidas y aluviones. Se estima que, a finales del siglo, las precipitaciones en el norte (hasta Copiapó) tengan una nula variación (DGA, 2017; Orrego, 2002), mientras que en la zona centro y sur el descenso de las precipitaciones sea entre un 30 a 40%, y en el extremo austral del país aumenten (PUC et al., 2013; IPCC, 2014). Producto de la disminución de las precipitaciones, Chile central vive actualmente una megasequía desde el año 2009. Por otra parte, las masas de hielo han disminuido su tamaño debido a las altas temperaturas y al aumento de las precipitaciones de agua lluvia, lo que resulta en una menor reserva y disponibilidad de agua. La escasez de nieve provoca el aumento de los caudales en el período de invierno a primavera y su disminución en el período de verano a otoño (CCG-UC, 2013; Orrego, 2002).

### **Nivel del mar**

En Chile el aumento del nivel del mar producto del cambio climático es insignificante, si se compara con los cambios de nivel debido a los movimientos telúricos (PUC et al., 2013).

### **Vientos**

Estos se ven afectados por la temperatura y otros elementos climáticos, por lo que se proyectan variaciones en su distribución estacional, velocidad y dirección, lo que a su vez afecta la frecuencia y duración de tormentas y huracanes (PUC et al., 2013). Por otro lado, producto de estos cambios en los vientos se proyecta un aumento significativo de la altura de oleajes y cambios en la dirección de incidencia, que será más marcado en el extremo sur del país, donde se prevén aumentos de altura 1 cm al año. En cambio, en las costas del norte y centro-sur del país, el aumento rondaría los 2 a 3 mm al año (PUC et al., 2013; CEPAL, 2015; CCG-UC, 2013).

### **Eventos extremos**

En este documento, se consideraron los siguientes como eventos extremos: temporales, trombas marinas, tornados, huracanes, granizo o nieve en épocas del año o en regiones donde normalmente no se producían. Las proyecciones indican que los eventos climáticos extremos aumentarán en más de diez veces hacia finales del siglo XXI (DGA, 2015). Estos tienen un alto potencial destructivo; por ejemplo, existen registros de que tormentas cortas e intensas en el norte de Chile pueden generar grandes y repentinas inundaciones, y zonas pobladas del norte y centro de Chile son afectadas con cierta recurrencia por eventos de flujo de escombros. Esto interfiere con el suministro de agua potable y genera un peligro para las personas y las diversas infraestructuras, incluyendo las del sector sanitario (Donoso, 2018).

## **4.5. Demografía**

Chile tiene 17.574.003 habitantes y una tasa de crecimiento poblacional actual de un 1%, cifra superior al 0,67% registrado en promedio para los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (OECD, 2017), pero ha ido disminuyendo consistentemente en las últimas décadas (Figura D.1, Anexo D). Actualmente, el 87,8% de la población habita en áreas urbanas (15.424.626 personas), en tanto que un 12,2% vive en las zonas rurales (2.149.377 personas), con una tendencia a la disminución (INE, 2018) (ver Figura D.2, Anexo D).

Por otro lado, la población no se distribuye uniformemente en el territorio nacional, sino que está fuertemente concen-

trada en la zona central (Figura 5). El 59,7% de la población total se concentra en las regiones Metropolitana (40,5%), Valparaíso (10,3%) y Biobío (8,9%) (INE, 2018).

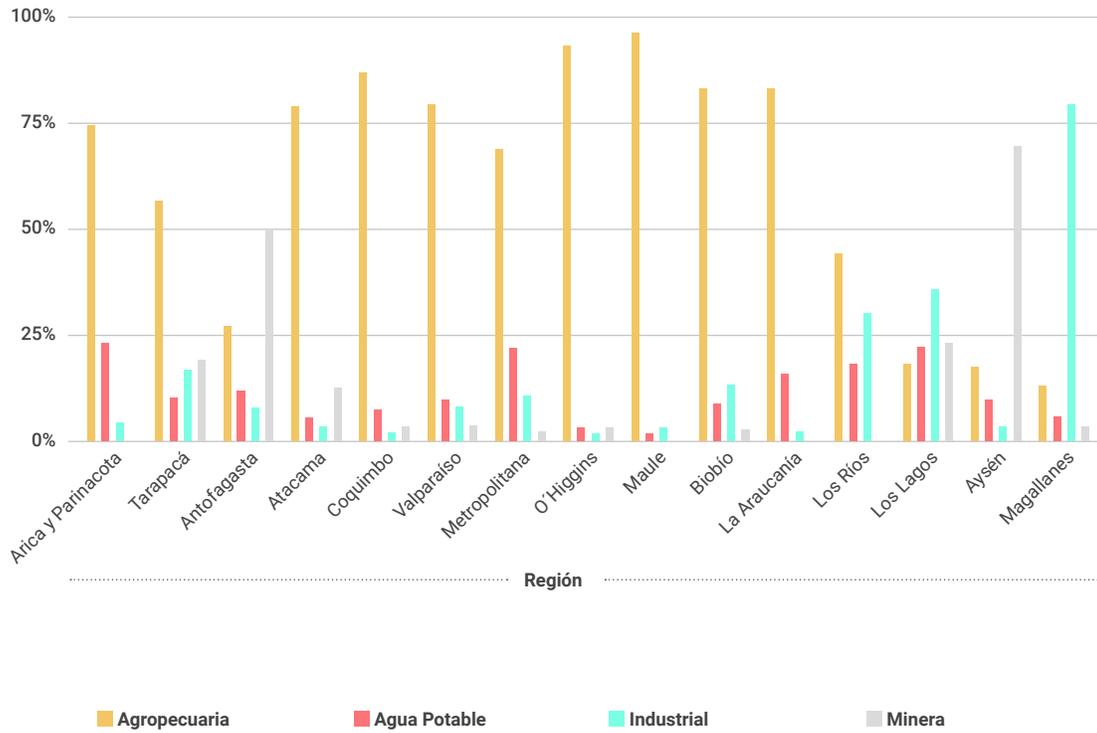
El consumo de agua per cápita es mayor en las ciudades con más población, producto del estilo de vida de las grandes urbes, por lo que el aumento de la población, especialmente en las zonas urbanas, hace que la demanda de agua potable también se incremente.

## **4.6. Actividades económicas**

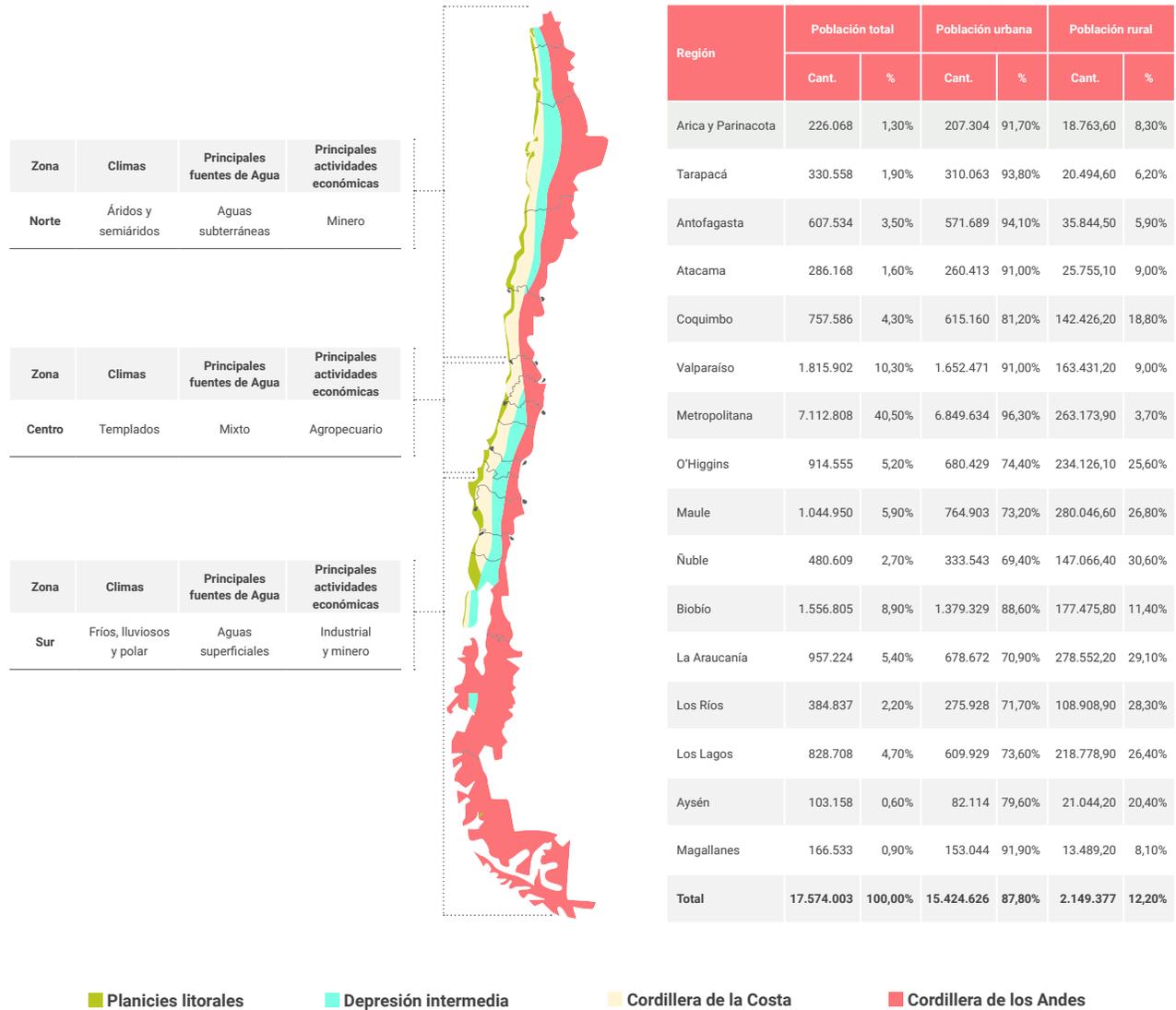
Las principales actividades económicas en Chile son la minería y la agricultura, las cuales compiten, en distinta medida, por el recurso hídrico para poder operar. La agricultura representa el 82% de la demanda total de agua, el consumo humano el 8%, el uso de agua para la industria el 7% y la minería representa el 3%. Esta última, a pesar del peso económico (alta exportación y PIB), tiene un bajo consumo de agua, ya que ha logrado una alta eficiencia en el uso de este recurso (Donoso, 2018; OECD, 2017). Además, es importante destacar que el mayor consumo se produce en la zona central de Chile, con un 75% del consumo total; de lejos le sigue la zona sur, que representa un 16%, luego el norte con un 6% y finalmente la zona austral con un 3% (OECD, 2017; DGA, 2015).

Al revisar la Figura 4, en la que se representan los usos del agua por región, se puede notar que el uso de agua varía según la zona geográfica. Aunque en términos generales es la agricultura la actividad económica que consume la mayor cantidad de agua, existen excepciones. Por ejemplo, en las regiones de Antofagasta y Aysén predominan los consumos debido a la actividad minera, y en las regiones de Los Lagos y Magallanes, el mayor consumo es por la actividad industrial (DGA, 2015).

Figura 4. Uso del agua por región. Fuente: DGA, 2015.



**Figura 5.** Mapa con los distintos climas, principales fuentes de agua y actividades por zona. Además, información de la población total, urbana y rural, dividida por región. Elaboración propia.



## 5. DESAFÍOS PARA LOS SISTEMAS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE URBANOS

Los potenciales efectos del cambio climático y desarrollos urbano y económico sobre la disponibilidad, calidad, distribución y demanda del agua plantean importantes desafíos para todo el sistema de gestión del agua potable urbano, que debe optimizar la producción y distribución de un recurso escaso para satisfacer las crecientes necesidades de consumo en todo el país. Este desafío es compartido por todos los actores del sector sanitario, pero particularmente por las empresas de servicios sanitarios a cargo del suministro de agua potable y por la SISS, que debe velar por el cumplimiento de la normativa vigente y el buen funcionamiento del sistema. Por una parte, las ESS enfrentan la responsabilidad de implementar tecnologías, procesos operativos, metodologías de gestión de riesgos y modelos de atención a clientes cada vez más eficientes e innovadores. Por otra parte, la entidad supervisora contribuye ejerciendo su rol fiscalizador de manera oportuna y efectiva, impulsando el desarrollo de las mejores prácticas para el sector y generando las condiciones regulatorias para que estas se puedan materializar.

El sector sanitario enfrenta actualmente un conjunto de amenazas que afectan su capacidad de satisfacer las cambiantes necesidades de producción y suministro de agua potable de calidad a lo largo del país. En primer lugar, el cambio climático conlleva efectos multivariados que se presentan de distinta forma en cada región, entre los que se incluyen: i) derretimiento de las masas de hielo, ii) inundaciones fluviales y costeras, iii) sequía, iv) vientos fuertes, v) olas de calor, vi) precipitaciones intensas y vii) eventos extremos (CCG-UC, 2013). Dichos fenómenos pueden tener un impacto significativo en la disponibilidad y producción de agua potable, ya sea deteriorando la calidad de las aguas, disminuyendo o aumentando su cantidad, o dañando la infraestructura necesaria para la correcta prestación de los servicios sanitarios.

Sumado al cambio climático, se deben considerar los efectos de los desarrollos urbano y económico. La urbanización tiene como efecto el aumento de la población en estas zonas y el cambio en el uso de suelo, lo que aumenta la demanda de agua potable urbana. Por su parte, el desarrollo de las actividades económicas, como la agricultura, minería, industria, generación eléctrica y pecuario producen a su vez un aumento de la demanda de agua, que compite con el agua destinada a la potabilización.

En la Figura 6 se resumen las tres principales amenazas a las que se enfrenta el sector sanitario, los efectos de cada una de ellas y los impactos sobre los servicios sanitarios.

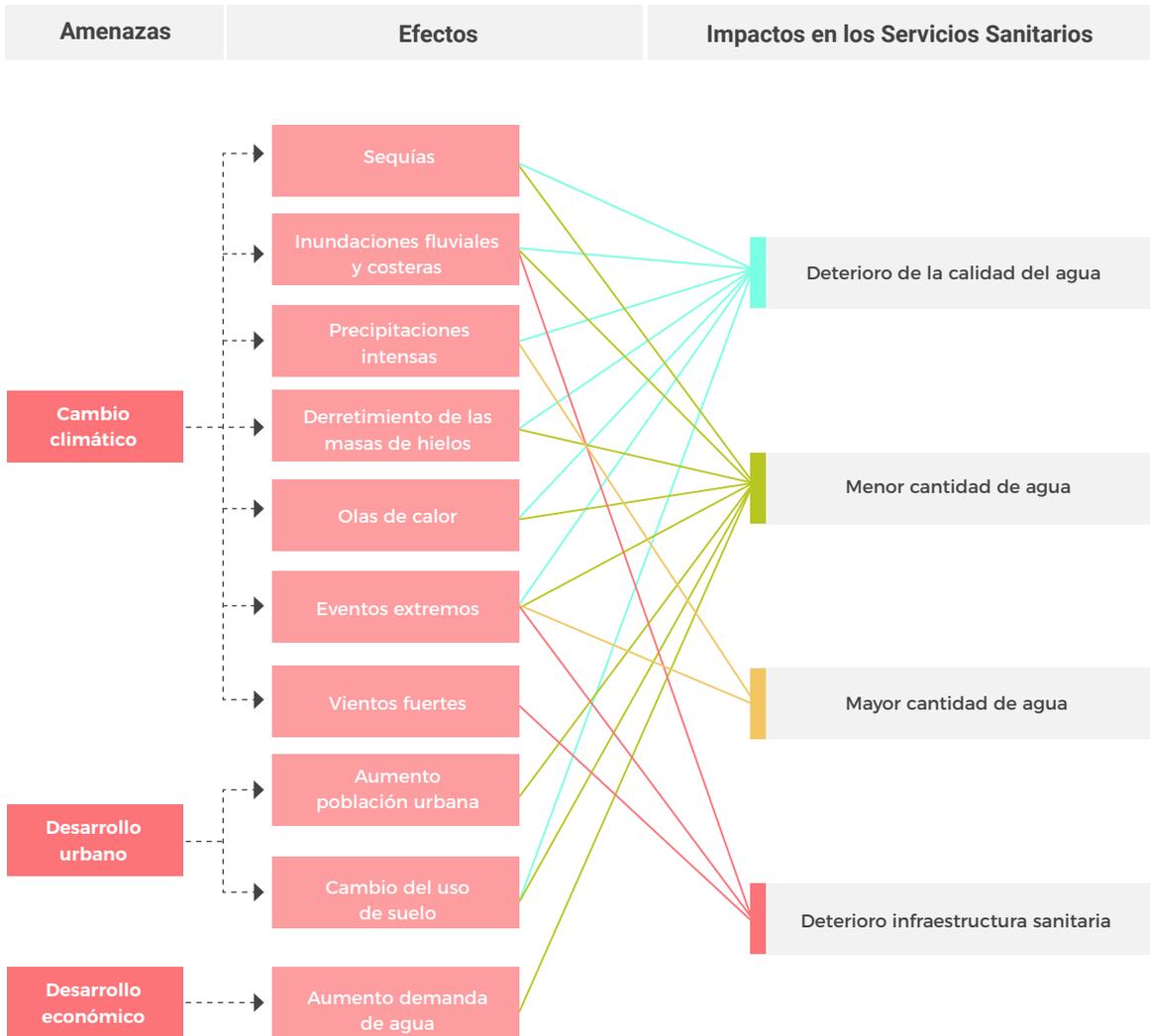
A continuación, se describe en mayor detalle cada uno de estos efectos.

### 5.1. Efectos del cambio climático en el sector sanitario

#### Derretimiento de las masas de hielo

Chile concentra el 76% de los glaciares de Sudamérica, el 91,7% de ellos en la zona austral, pero hay evidencia de que todos los glaciares en el país registran disminuciones en sus masas, debido al aumento de la temperatura global (UdeC, 2019; MOP, 2011). Este derretimiento resulta en una disminución de las reservas de agua dulce, fundamentales para la producción de agua potable, y afecta, además, la recarga de los acuíferos, que son de gran importancia en la temporada estival, especialmente en la zona central del país. Las pérdidas de hielo también impactan los caudales de los ríos, los que han aumentado en algunas cuencas, en especial durante los meses de verano en años secos. Sin embargo, en otras zonas los flujos han disminuido y los caudales máximos se han adelantado, provocando cambios en la temporalidad de estos (UdeC, 2019).

Figura 6. Amenazas, efectos e impactos que enfrenta el sector sanitario.



### **Inundaciones fluviales y costeras**

Las inundaciones y aluviones se producen cuando existen episodios de intensas precipitaciones, ya que, por un lado, los suelos no son capaces de absorber toda el agua que cae y, por otro, el cauce de los ríos aumenta a tal magnitud que se desbordan, ocasionando pérdidas humanas y daños estructurales en ciudades ubicadas cerca de sus cauces naturales (CCG-UC, 2013). Por otra parte, las inundaciones costeras pueden provocar intrusión marina en acuíferos subterráneos, provocando su contaminación (PUC et al., 2013).

En Chile son más frecuentes desde la Región de Arica y Parinacota hasta la Región Metropolitana, y debido al cambio climático se espera que estos fenómenos aumenten en cantidad e intensidad. Esto interfiere en los procesos de potabilización, ya que se pueden producir daños a la infraestructura sanitaria y contaminación de las fuentes de aguas, ya sea por la alta carga de sedimentos en aguas superficiales asociada a crecidas o desbordes de ríos, o a intrusiones marinas en el caso de inundaciones costeras (PUC et al., 2013; FCh, 2018).

### **Sequías**

Chile, independientemente del cambio climático, tiene zonas áridas producto de que el anticiclón del Pacífico bloquea el avance de las masas frías provenientes del sur y porque la cordillera de los Andes actúa como un aislante. El problema es que estas zonas son más vulnerables a los episodios de sequías, y al intensificarse producto del cambio climático se produce escasez hídrica, lo que ocasiona problemas en la agricultura y en la producción de agua potable (PUC et al., 2013; CCG-UC, 2013).

En Chile se han registrado varios episodios de sequía; el más actual comenzó el año 2009 y se prolonga hasta la fecha, siendo catalogada como megasequía, por su extensión en el tiempo y el espacio. Se proyecta que a finales de siglo las sequías en Chile se vuelvan permanentes, en especial en la zona centro y norte, específicamente desde la Región de Coquimbo a la Región de Los Lagos (CEPAL, 2012).

Producto de la disminución en las precipitaciones, se han declarado setenta y cinco decretos de escasez hídrica entre 2008 y 2015, siendo la Región de Valparaíso la que ocupa el primer lugar, aunque es la Región de Coquimbo la que tiene una mayor superficie acumulada con estas declaraciones (DGA, 2015).

### **Vientos fuertes**

Este tipo de episodios están disgregados en todo el territorio chileno y pueden afectar principalmente la infraestructura de los servicios sanitarios. Se estima que estos aumenten en intensidad y frecuencia producto del cambio climático (Adapt-Chile, CEDEUS y CCG-UC, 2014; DMC, 2020a, 2019, 2018, 2017, 2016).

### **Olas de calor**

Estos eventos producen que la evaporación aumente y que por lo tanto los reservorios de agua disminuyan, lo que no solo afecta la cantidad, sino también la calidad de este recurso. Se proyecta que debido al cambio climático estos eventos aumenten en número y en extensión en el tiempo y en el espacio. Además, según los boletines de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), la región con mayor incidencia de olas de calor en los últimos años ha sido la Región del Maule (DMC, 2020a, 2019, 2018, 2017, 2016).

### **Precipitaciones intensas**

A nivel global, el número de precipitaciones intensas irá aumentando debido al cambio climático. En Chile, la región con mayor cantidad de estos episodios es la Metropolitana. Este tipo de precipitaciones causa inconvenientes a la calidad del recurso, ya que puede provocar inundaciones, aluviones y desbordes, los cuales arrastran sedimento a las fuentes de agua, perjudicando el proceso de potabilización del agua y dañando la infraestructura (Adapt-Chile, CEDEUS y CCG-UC, 2014; DMC, 2020a, 2019, 2018, 2017, 2016).

### **Eventos extremos**

Los eventos extremos considerados en este informe son el granizo, la nieve, las trombas marinas, las tormentas eléctricas y los tornados. El cambio climático ocasiona un aumento de estos eventos en frecuencia e intensidad, siendo la región más afectada la de Los Lagos. Sin embargo, al igual que con los vientos fuertes, los eventos extremos están dispersos por todo el territorio nacional, sin concentrarse en una zona específica. Estos eventos pueden afectar tanto la cantidad como la calidad del agua, así como la infraestructura de potabilización de agua potable (Adapt-Chile, CEDEUS y CCG-UC, 2014; DMC, 2020a, 2019, 2018, 2017, 2016).

## 5.2. Efectos del desarrollo urbano en el sector sanitario

### Aumento de la población en zonas urbanas

Las proyecciones sobre la población urbana permiten anticipar las modificaciones en el consumo y futuras demandas de agua potable. En Chile, la proporción de población urbana en 2002 era de un 86,3% y se espera que para 2035 alcance el 89,1%. Actualmente las regiones con más población urbana son la Metropolitana, Valparaíso y Biobío, y se estima que lo seguirán siendo hacia 2035, año en que se tienen estas proyecciones. En cuanto a la tasa de crecimiento poblacional por año, las regiones con mayores tasas son Tarapacá, Coquimbo y Maule (INE, 2020).

### Cambio del uso de suelo

Las regiones que más superficie (hectáreas) tienen destinadas actualmente al uso urbano hasta el año 2017 son la Metropolitana, Valparaíso y Biobío, en concordancia con la mayor concentración de población. Sin embargo, si se compara la evolución de la superficie de suelo urbano entre los años 2002 y 2017, las regiones que han experimentado un mayor crecimiento anual son O'Higgins, Los Lagos y Atacama (IDE y MINVU, 2020).

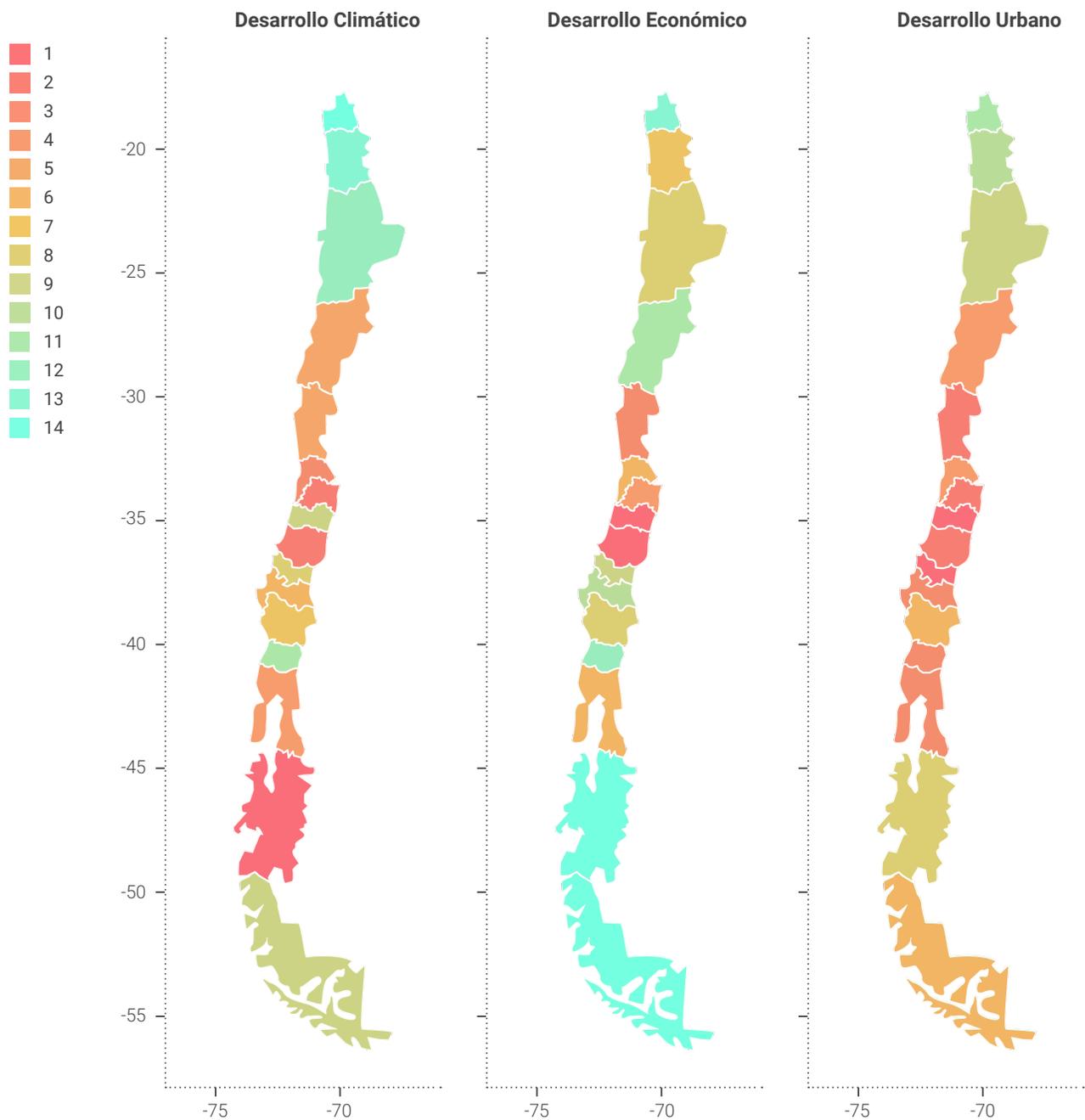
## 5.3. Efectos del desarrollo económico en el sector sanitario

Las actividades económicas como la agricultura, la industria, la generación de energía, la minería y la actividad pecuaria, requieren de agua para su funcionamiento y compiten con el agua destinada a la potabilización para consumo humano. La actividad más demandante es la agricultura, que llegó a consumir en el año 2015 un 82,2% del total del agua utilizada con fines productivos. Las industrias alcanzan un 7,51%, mientras que la generación eléctrica consume un 5,09%, principalmente por el proceso de enfriamiento que se produce en las termoeléctricas. Le siguen en orden descendente la minería, con un 4,43% y por último el consumo pecuario con un 0,77%. Por su parte, las regiones con mayores consumos son Maule, O'Higgins y Metropolitana, por su combinación de alta concentración de población e intensa actividad económica, especialmente agrícola, que es la más demandante en cuanto a recursos hídricos, como se

mencionó. Respecto a la tasa de aumento por año, esta es mayor en Los Ríos, seguida por Los Lagos y luego Atacama (DGA, 2017a, 2017b).

Los mapas presentados en la Figura 7 resumen el ranking de riesgo por regiones para cada una de las tres amenazas consideradas (cambio climático, desarrollo económico y desarrollo urbano).

Figura 7. Mapa de riesgo al cambio climático, desarrollo económico y desarrollo urbano. El número 1 indica el mayor riesgo y el 14 el menor riesgo, de las distintas regiones.



## 6. GESTIÓN DE LOS SERVICIOS SANITARIOS

En Chile, el sistema de prestación de agua potable urbano opera a través de un régimen de concesiones, en su mayoría privadas y bajo la supervisión del Estado, a través de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, la cual se encarga de vigilar que el servicio de agua potable urbano sea de calidad y continuo, según lo establecido en la normativa vigente. Asimismo, la SISS vela porque el servicio sea sostenible en el tiempo y se mantenga a un precio justo.

A continuación, se analiza el estado actual del sistema de gestión y supervisión del agua potable en Chile, describiendo a los actores involucrados, el proceso de fiscalización, la forma de envío de información desde las sanitarias a la SISS, los indicadores que determinan la calidad del servicio, las etapas de la prestación de los servicios sanitarios y la actual gestión de riesgo que está realizando la SISS. Esto, con el fin de plantear en la siguiente parte, las ventajas del sistema de supervisión y alerta temprana, los desafíos que enfrenta el sector sanitario y determinar las acciones tendientes a superarlos.

### 6.1. Concesiones sanitarias

Las concesiones corresponden a un derecho exclusivo que se otorga para la explotación de un servicio de agua potable, alcantarillado o tratamiento de aguas servidas en un área urbana determinada. El titular de la concesión está obligado a mantener la continuidad y calidad del servicio, el cual tiene carácter indefinido. El proceso de concesión se inicia con una solicitud a la SISS, que la analiza en base a distintos antecedentes como: límites geográficos, números de usuario de agua potable y alcantarillado, fuentes y derechos de agua. Al momento de ingresar esta solicitud, se pone en conocimiento al Ministerio de Vivienda y Urbanismo, y a la Municipalidad de la zona, para que emitan las observaciones pertinentes. Si se acoge a trámite la solicitud, el interesado debe publicar un extracto de la misma en el Diario Oficial y en un diario de circulación en la región correspondiente; de esta manera otros interesados pueden presentar sus solicitudes. Luego, cada interesado presenta un estudio de prefactibilidad técnico-económica y la SISS se encarga de recomendar el otorgamiento de la concesión al interesado que presente una menor tarifa y cumpla con las exigencias técnicas. Finalmente, esta misma entidad remite los antecedentes al Ministerio de Obras Públicas, proponiendo que se dicte el decreto que otorga la concesión (SISS, 2020a).

### 6.2. Empresa de servicios sanitarios

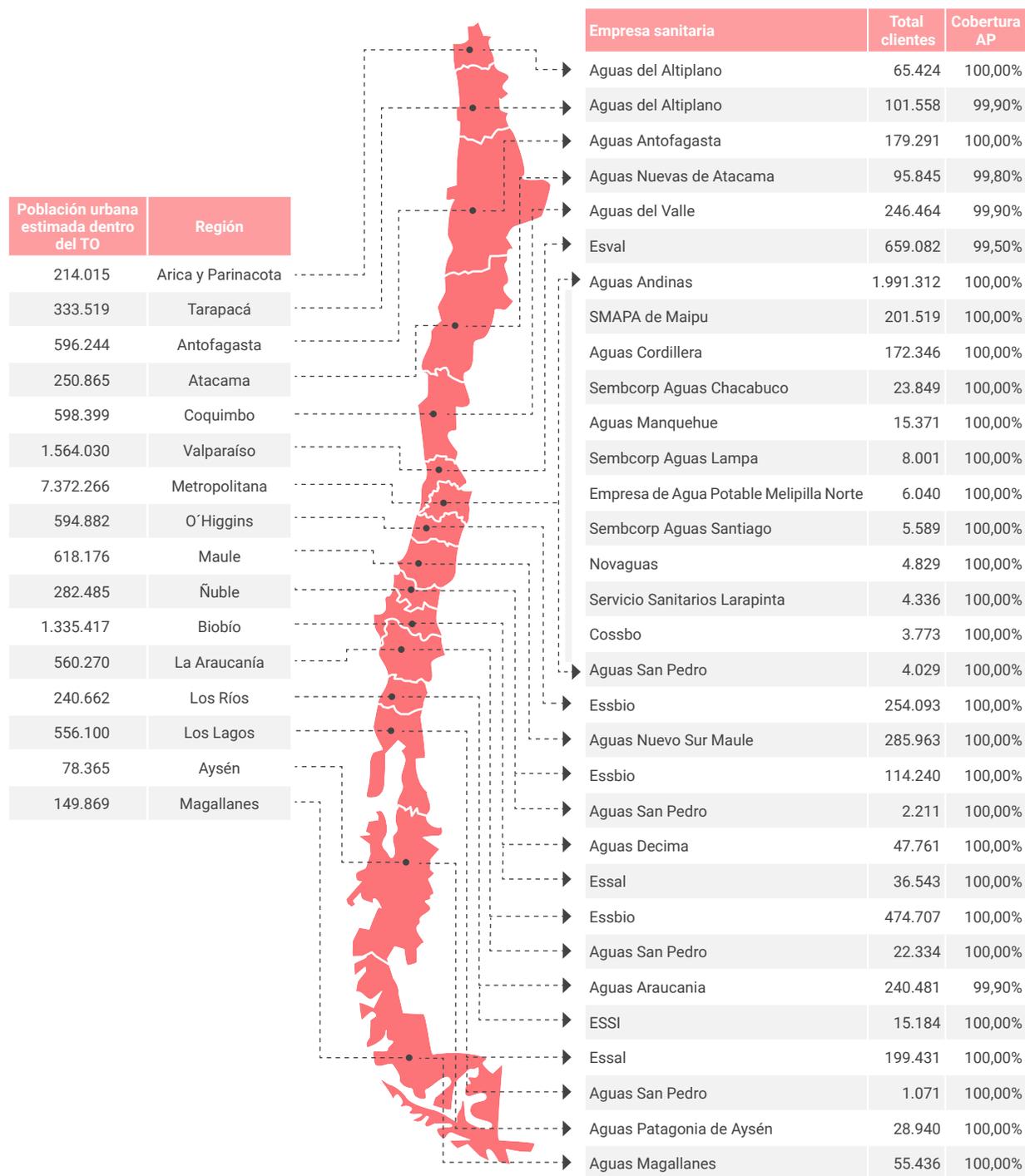
Las empresas de servicios sanitarios son las encargadas de explotar las concesiones sanitarias, prestando servicios de distribución de agua potable y recolección, y/o disposición de aguas servidas a más de cinco millones de clientes. Actualmente, el sector sanitario está compuesto por cincuenta y tres empresas operativas; la mayoría son de propiedad privada y atienden al 96,2% de los clientes, mientras que el 3,8% restante son abastecidos por concesionarias municipales, cooperativas o del Estado (SISS, 2020d). Entre las principales empresas sanitarias, destacan Aguas Andinas, que concentra un 35,46% (1.991.312) de los clientes del país; Essbio, que le presta servicios al 15,01% (843.040), y Esval a un 11,74% (659.082) (SISS, 2020e).

En la Figura 8 se resume el escenario actual del sector sanitario, considerando las veintiocho mayores ESS, que en conjunto abastecen de agua al 99,7% de la población urbana concesionada de Chile (SISS, 2020d). A la derecha del mapa se indican la cantidad de clientes y el porcentaje de cobertura de agua potable de cada ESS, y a la izquierda se señala la población urbana abastecida por región. Para un mayor detalle de todas las empresas, revisar la Tabla C.1 del Anexo C.

### 6.3. Superintendencia de Servicios Sanitarios

La Superintendencia de Servicios Sanitarios es una entidad pública, descentralizada y reguladora, que cuenta con la supervigilancia del presidente de la República, a través del Ministerio de Obras Públicas. Esta entidad debe vigilar que la población urbana concesionada reciba los servicios de agua potable y saneamiento con la calidad y continuidad establecida en la normativa vigente. Asimismo, controla y fiscaliza los residuos líquidos producidos por las industrias y los vertidos de las plantas de tratamiento de aguas servidas (BCN, 1990; SISS, 2020a).

Figura 8. Principales empresas de servicios sanitarios a nivel nacional, con el detalle del total de población abastecida por región y los clientes y la cobertura de agua potable para cada empresa. Fuente: SISS, 2020d, 2020e. Elaboración propia.



#### 6.4. Proceso de fiscalización de la SISS

El proceso de fiscalización llevado a cabo por la Superintendencia se define como toda acción o proceso de auditoría, revisión o control aplicado sobre una entidad sujeta de fiscalización y que utilice medios, recursos o herramientas de la SISS para su desarrollo. Este proceso comienza definiendo lo siguiente:

- **Unidad y responsable del proceso.**
- **Motivo que la origina** (programada o no programada).
- **Unidad fiscalizable** (empresa, localidad, etapa o proceso).
- **Modo de fiscalización** (terreno, remota, gabinete o combinada).

En el caso específico del “modo de fiscalización”, y para una mejor comprensión, a continuación, se describen sus cuatro formas enunciadas anteriormente:

- **Terreno:** Actividad presencial realizada por un fiscalizador, quien, como ministro de fe, constata en un Acta (levantada in situ) los hechos relativos a la prestación de los servicios sanitarios.
- **Remota:** Actividad realizada a distancia, bajo los lineamientos del ORD 997-2020 y basada en la información solicitada por la SISS y reportada por el fiscalizador, a través de medios digitales, remitidos a través de casillas de correo electrónico oficiales y según mecanismos acordados.
- **Gabinete:** Dice relación con el análisis de los resultados de auditorías, controles directos, controles paralelos, análisis de protocolos o instrucciones globales, tareas generalmente realizadas por el nivel central de la División de Fiscalización.
- **Combinada:** Utiliza una combinación de modos, se clasifica según la modalidad predominante en el desarrollo de la fiscalización.

Posteriormente a la definición (de unidad, responsable, motivo, unidad fiscalizable y modo de fiscalización), su desarrollo se basa en la recopilación de antecedentes, los que pueden ponerse a disposición, a través de distintos medios o herramientas, siendo los más usados:

- **Acta de fiscalización:** Documento foliado, suscrito por un fiscalizador que tiene la calidad de ministro de fe, en que

se constatan los hechos que ha tenido a la vista.

- **Requerimiento de información:** Requerimientos directos y oficiales realizados al fiscalizado vía correo, oficio o a través de un protocolo de información.
- **Auditoría externa o estudios:** Servicio especializado realizado por terceros, mediante contrato y según requerimientos específicos de la SISS.
- **Controles paralelos y directos:** Servicio especializado realizado por terceros, mediante contrato y según requerimientos específicos de la SISS.

En cualquiera de los casos, se analiza la información recopilada y el resultado es un “informe del fiscalizador”, documento suscrito por el profesional responsable de la fiscalización, en que se registran las conclusiones del proceso y se describen las acciones a seguir, siendo estas acciones categorizadas en:

**1) Sin hallazgos:** El fiscalizado ha dado cumplimiento a la normativa vigente y no hay evidencia de incumplimiento normativo. No se requieren medidas posteriores.

*El proceso de fiscalización se cierra sin hallazgos advertidos. El fiscalizador responsable considera que el prestador ha dado cumplimiento a la normativa vigente, no acusa deficiencias en la materia fiscalizada y a la fecha no hay evidencia de incumplimiento normativo asociado, según consta en un Acta de fiscalización.*

**2) No requiere medidas:** El fiscalizado corrigió (durante la fiscalización) las deficiencias menores que fueran detectadas y constatadas en un Acta de fiscalización. No amerita medidas adicionales ni seguimiento posterior.

*El proceso de fiscalización se cierra sin observaciones. El fiscalizador responsable considera que el prestador corrigió durante la fiscalización las deficiencias menores que fueron detectadas en la materia fiscalizada, según consta en un Acta de fiscalización, situación que no constituye un incumplimiento normativo, de acuerdo con los criterios y procedimientos vigentes.*

**3) Requiere advertencia:** Aplica en el caso de deficiencias menores constatadas y que no logran ser resueltas durante el proceso de fiscalización. Sin embargo, la ejecución de soluciones asociadas no amerita un seguimiento por parte de la SISS.

*El proceso de fiscalización se cierra con un oficio de advertencia al fiscalizado. El fiscalizador responsable considera que el prestador acusa deficiencias en la materia fiscalizada, según consta en un Acta de fiscalización. Sin embargo, la situación observada ha sido superada en breve tiempo y/o su característica no es suficiente para formular reproche, según los criterios y procedimientos vigentes; y, en lo específico, no amerita un seguimiento asociado por parte de esta Superintendencia.*

**4) Requiere instrucción:** Se instruyen medidas para subsanar hallazgos, ya que las deficiencias encontradas pueden poner en riesgo la calidad de los servicios o definitivamente la está afectando. El cumplimiento de instrucciones debe ser verificado posteriormente por la SISS, por lo que implica acciones de seguimiento por parte de esta, y en casos específicos se puede concluir que la instrucción debe ser realizada por otra unidad de la SISS, a través de una derivación.

*El proceso de fiscalización se cierra con observaciones y se deben dictar instrucciones al respecto. El fiscalizador responsable considera que, según consta en un Acta de fiscalización, el prestador acusa deficiencias en la materia fiscalizada, hechos que pueden poner en riesgo o afectar la calidad de los servicios sanitarios, y eventualmente constituir un incumplimiento a la norma, reglamento, estándar, instrucciones, órdenes o resoluciones dictadas por esta Superintendencia. Posteriormente, la SISS realizará un seguimiento a la ejecución de las acciones, que permita al fiscalizado subsanar los hallazgos, y verificará el cumplimiento de las instrucciones emitidas.*

**5) Requiere instrucción e iniciar proceso de sanción:** Aplica en situaciones en que la gravedad de los hechos amerita una instrucción directa para corregir una deficiencia que afecta la calidad del servicio (en sus diferentes aspectos). Al mismo tiempo, amerita el inicio de un proceso de sanción por la misma causa que la origina.

*Dependiendo del caso, pueden convivir más de una conclusión.*

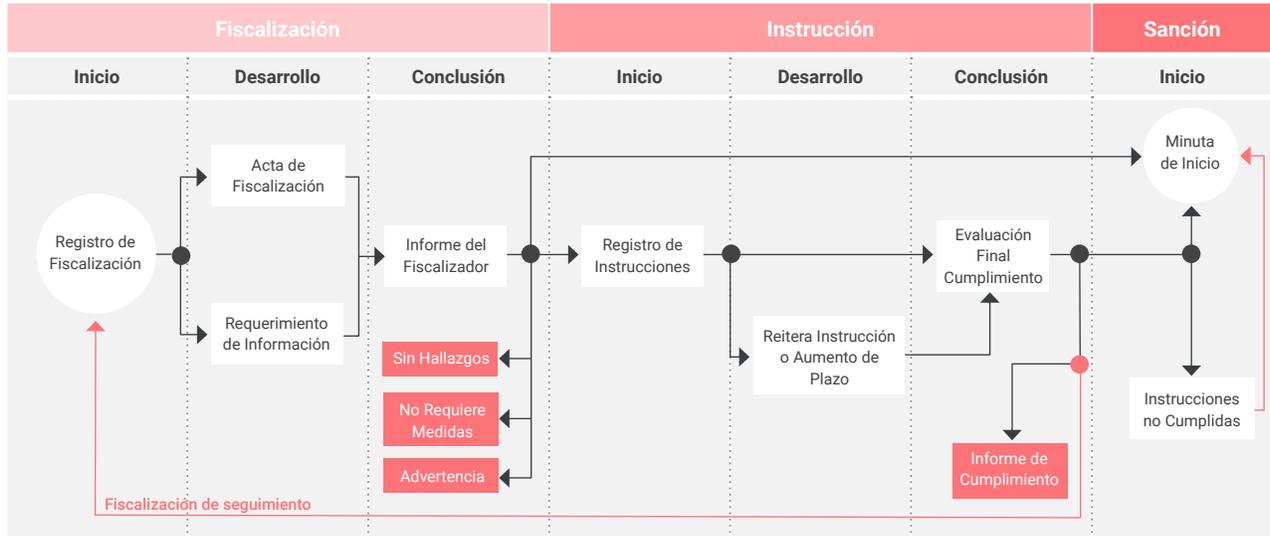
**6) Requiere iniciar proceso de sanción:** La gravedad de los hechos constatados amerita el inicio de un proceso de sanción en contra del fiscalizado, sin mediar instrucción, ya que supone que la sanción implica, de por sí, un cambio en la conducta del fiscalizado.

*El proceso de fiscalización se cierra con la propuesta de hacer cargo infraccional en contra del fiscalizado, dada la ocurrencia de hechos que presentan las condiciones de ser constitutivos de infracción, según se constata en un Acta de fiscalización o en un informe suscrito por el fiscalizador a cargo. Se deben describir los hechos con apariencia infraccional y especificar el incumplimiento a la norma, reglamento, estándar, instrucciones, órdenes o resoluciones dictadas por esta Superintendencia, según lo establecido en el Título III de la Ley N° 18.902.*

Es importante destacar que el proceso de fiscalización descrito corresponde a información recabada a principios de 2021, por lo que pueden existir modificaciones, debido a que está en un constante proceso de mejora. Asimismo, partir del año 2020, la SISS ha implementado un sistema de Registro Integrado de Fiscalización (RIF), que utiliza un Visor Tableau, en que se registran y quedan relacionados todos los documentos e información asociada a un determinado caso, desde que se inicia la fiscalización hasta que se cierra el caso, tal y como se visualiza en la Figura 9.

La Superintendencia está facultada para sancionar a las sanitarias cuando éstas incurran en infracciones a las leyes, reglamentos y/o normas que rigen a los servicios sanitarios, o en caso de que incumplan las instrucciones, órdenes o resoluciones que dicte la Superintendencia. Algunas de estas son: deficiencias en la calidad, discontinuidad de los servicios, cobros indebidos, incumplimiento del programa de desarrollo, entre otros. Dichas sanciones consisten en multas a beneficio fiscal, que van de 1 a 10.000 UTA, según se indica en la ley N°18.902 (BNC, 1990).

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de fiscalización realizado por la SISS.



### 6.5. Protocolos de información

Los protocolos de información son los procesos informáticos definidos según los cuales las empresas de servicios sanitarios reportan resultados de su operación en distintas dimensiones a la Superintendencia. Son más de cuarenta (para más detalles, véase la Tabla C.2, Anexo C), los cuales son remitidos de manera mensual, semestral, trimestral o anual, según sea el caso, y comprenden, por ejemplo, datos de calidad del agua cruda y agua potable, captaciones de agua, control de plantas de tratamiento de A.S., estado de grifos, facturación mensual, guía de planes de emergencia para empresas sanitarias, informe del proceso lecturas de medidores, producción de agua potable, entre otros. Como antecedente para dimensionar la cantidad de información disponible para analizar por la SISS, solo el protocolo PR019001 de “Control de facturación mensual” origina una base de datos alimentada con más de cinco millones de registros por mes a nivel nacional, y en el caso del protocolo PR013001, sobre “indicadores de calidad de servicio”, las empresas Aguas del Valle y Aguas Andinas reportaron 37.400 y 246.607 reclamos durante el año 2019, respectivamente.

Los protocolos son enviados con la utilización del Sistema de Intercambio de Archivos (SINAR). Una parte de estos protocolos son cargados en la base de datos y otros son almacenados en planillas Excel, PDF o archivos cartográficos. En ambos casos quedan disponibles, con un desfase temporal entre la obtención de los datos por las empresas sanitarias hasta la recepción, por parte de la SISS. En el caso de los protocolos enviados mensualmente, las sanitarias tardan un mes aproximadamente en remitir la información (es decir, la información que recibe la SISS corresponde al mes anterior). Luego, se suma otro desfase temporal, ya que, por ejemplo, para el caso de los protocolos que se envían mensualmente, el análisis que realiza la SISS central tarda alrededor de un mes y se materializa en un reporte que es enviado a las Oficinas Regionales, para orientar la fiscalización en terreno y alertar cuando existen desvíos del servicio. Además, a solicitud de cada Oficina Regional, la SISS central les envía un mapa de calor o las planillas de los protocolos; así cada Oficina Regional revisa su labor diaria y planifica sus actividades anualmente. En estos mapas se expone de manera gráfica parte de la información de los reportes, pero no se generan de forma automática. Este envío puede ser

anual, semestral o trimestral, pues solo están disponibles para consulta a medida que se van construyendo a solicitud de las Oficinas Regionales. En esta misma línea, hay oficinas que realizan sus propios análisis, con las planillas de los protocolos, los que tienen una función complementaria a los reportes y mapas que envía la Oficina Central. Estas planillas no están estandarizadas y surgen de un proceso manual y en base a la experiencia de los funcionarios de cada Oficina Regional.

Es importante destacar que, para ejercer su labor, la División de Fiscalización de la SISS cuenta con casi ochenta funcionarios distribuidos en todo el territorio nacional, organizados en cinco áreas: Comercial, Técnica, Aguas Servidas, Gestión de Riesgo de Desastres y Oficinas Regionales. Las cuatro primeras comprenden más de quince funcionarios alojados en la SISS central y la última área consta de más de sesenta fiscalizadores distribuidos en las dieciséis regiones de Chile. Estos realizan rondas periódicas en su territorio de acción, guiados por la experiencia previa capturada en la zona y por los reportes resultantes de análisis centralizados de información, enviados por la SISS central. Lo anterior, además, cumpliendo con la Programación de Actividades, en que se estipula un cronograma anual de actividades para las diferentes divisiones, áreas, departamentos y unidades de la SISS, con sus respectivos plazos, responsables, entregable y presupuestos. Dicha planificación es elaborada anualmente por las Oficinas Regionales y es ajustada a nivel central, con las recomendaciones pertinentes.

En este contexto, el tener un sistema inteligente que permita realizar una fiscalización basada en evidencia y orientada a la gestión del riesgo, representa una necesidad y oportunidad certera para mejorar la eficiencia y eficacia de la División de Fiscalización de la SISS, y consecuentemente, la calidad del servicio de agua potable. El análisis temprano y adecuado de los protocolos de información permitiría a la SISS tomar decisiones en su rol fiscalizador hacia las sanitarias, a modo de anticipar contingencias que pongan en riesgo el suministro de agua potable. Las herramientas tecnológicas y sistemas de gestión y análisis que tiene a disposición actualmente la SISS son susceptibles de ser mejorados en cuanto a aumentar su capacidad para explotar estos datos masivos en forma eficiente y extraer sistemáticamente información que permita pasar de una fiscalización reactiva a una fiscalización oportuna basada en la evidencia.

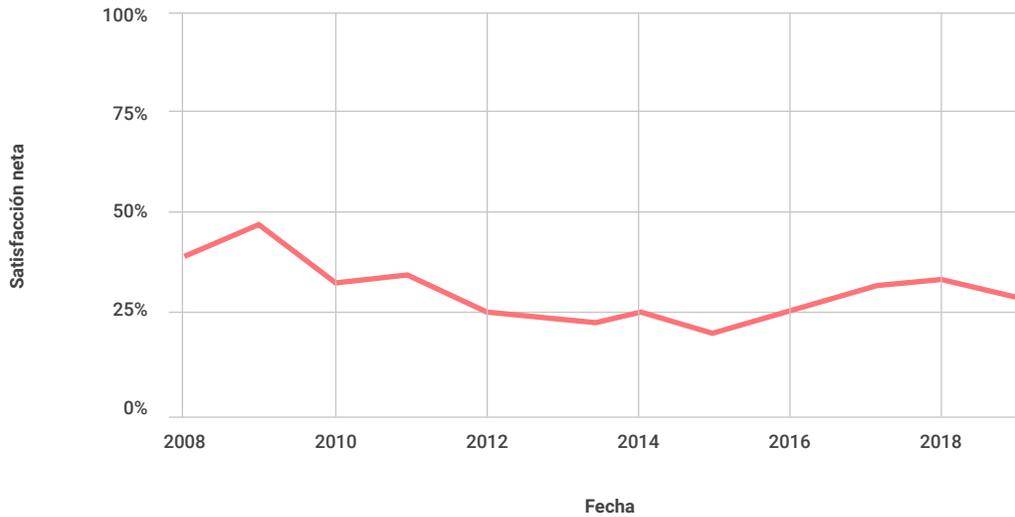
La gran cantidad de datos con que cuenta actualmente la SISS hace imposible su procesamiento mediante técnicas convencionales, por lo que un enfoque orientado al big data y la inteligencia artificial le permitirá mejorar sus procedimientos y proyectar su operación en la nueva era de las tecnologías de la información, brindándole una herramienta moderna que le permita lidiar con los nuevos desafíos del sector sanitario.

## 6.6. Indicadores de la Superintendencia

Para evaluar la calidad del servicio entregado por las ESS, la SISS cuenta con indicadores que consideran los siguientes atributos: i) calidad del agua potable, ii) presión del servicio de agua potable, iii) continuidad del servicio de agua potable, iv) continuidad del servicio de recolección de aguas servidas (alcantarillado), v) calidad del tratamiento de aguas servidas, vi) exactitud en el cobro y vii) respuesta a reclamos (SISS, 2020d). La base de datos para construir estos indicadores es el conjunto de protocolos de información que las sanitarias envían periódicamente a la SISS.

Además de los indicadores nombrados anteriormente, la Superintendencia realiza un estudio anual de la "Percepción de Clientes de la Calidad de Servicio de las Empresas Sanitarias", en base a encuestas realizadas a los clientes y compuestas por nueve atributos, que dan cuenta de manera agregada la percepción de la calidad del servicio entregado por las sanitarias. Estos son: i) servicio de agua potable, ii) servicio de alcantarillado, iii) canales de contacto, iv) proceso de lectura, v) boleta, vi) pago de cuentas, vii) agilidad en la reanudación ante cortes, viii) capacidad de resolución de problemas y ix) precio del servicio. A partir de este estudio, se calcula la denominada "satisfacción neta", la cual ha decrecido desde un 39,7% en el año 2008, a un valor actual del 30%, pasando un mínimo de 18,8% en 2015, como se observa en la Figura 10 (SISS, 2020c, 2020d y 2017). Si bien en Chile la cobertura de agua potable urbana en los territorios concesionados está por sobre el 99,9% y la OMS estima para Chile una cobertura del 100% tanto en agua potable como en saneamiento, la evaluación de la calidad del servicio por parte de los usuarios es comparativamente baja (SISS, 20120d; OMS, 2019), lo cual revela la necesidad de fortalecer las capacidades de supervisión y fiscalización de la SISS.

Figura 10. Calidad del servicio sanitario medida por la satisfacción neta de los usuarios. Fuente: SISS, 2020c, 2020d y 2017.



### 6.7. Planes de la SISS: modernización y gestión de riesgo de desastres

Para mejorar sus procesos y servicios, la SISS se encuentra en un proceso de modernización a gran escala, para lo cual ha llevado a cabo un trabajo que se ha materializado en el “Diseño del Plan de Modernización Institucional de la Superintendencia de Servicios Sanitarios”. Entre muchos aspectos evaluados, en el documento se señala la “automatización de análisis de datos: diarios, semanales, mensuales y anuales”. Por otro lado, el año 2020, la SISS publicó su “Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020-2030”, el cual está en sintonía con la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030 de la ONEMI, el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030 (ONU, 2015) y con la Agenda del Sector Sanitario al 2030 (SISS, 2020b).

El Plan Estratégico está formulado como una hoja de ruta en la que se estipulan las acciones que se deben abordar por el sector sanitario desde la actualidad hasta el año 2030, en materia de reducción del riesgo de desastre en el sector sanitario. Contempla cinco ejes de acción: i) comprender el riesgo de desastres, ii) fortalecer la gobernanza de la gestión

del riesgo de desastres, iii) planificar la reducción de riesgo de desastres, iv) proporcionar una respuesta eficiente y eficaz frente a eventos que afecten al sector, y v) fomentar una recuperación sostenible (SISS, 2020b).

En este plan se plantean varios objetivos, como por ejemplo el 2.2, que indica la necesidad de “fortalecer competencias y capacidades para la gestión del riesgo de desastres en el sector sanitario”, y el 4.1, que plantea “fortalecer los sistemas de alerta temprana, de monitoreo y de comunicaciones”. Así, el proyecto “Sistema de supervisión y alerta temprana (SSAT) para los servicios de agua potable urbanos concesionados” viene a apoyar la labor de fiscalización a la SISS y contribuir con su Plan de Modernización y con su Plan Estratégico Nacional, orientados a mejorar la calidad de los servicios sanitarios y garantizar el suministro de agua potable a los clientes urbanos concesionados (SISS, 2020b).

## 6.8. Tecnologías y gestión de la información en ESS

La prestación de servicios realizados por las empresas de servicios sanitarios se puede dividir en cuatro etapas secuenciales (Figura 11): i) producción de agua potable, ii) distribución de agua potable, iii) recolección de aguas servidas y iv) tratamiento y disposición de las aguas servidas (SISS, 2020d; Aguas Andinas, 2019; Aguas del Valle, 2019; Essbio, 2020).

En las empresas de servicios sanitarios, el nivel de tecnología y gestión de la información tiene un alto nivel de relación con el tamaño y las características propias de esta. Debido a ello y a pesar de que la SISS ha definido protocolos para recibir la información, la calidad de los datos entregados por las sanitarias difiere, ya que algunas solo cuentan con operarios en terreno que realizan los registros periódicamente. Además, las validaciones y los análisis también se hacen de manera manual, mientras que otras ESS cuentan con sistemas de sensorización en fuentes de agua y red de alcantarillado, y

Figura 11. Etapas del proceso de prestación de servicios sanitarios.



sus validaciones y análisis se encuentran más automatizados. Esto provoca que los datos generados y disponibles para la SISS sean de diferente precisión y completitud, y, por lo tanto, los análisis extraídos de los mismos difieren en robustez.

En general, a partir del proceso de entrevista y consulta a ESS se logró determinar que en la **etapa 1**, las operaciones referentes a la captación del agua cruda casi no cuentan con sensores instalados en sus operaciones. Sin embargo, por ordenanza de la SISS, las sanitarias deben monitorear los parámetros químicos, físicos y biológicos de calidad del agua, los cuales son analizados por laboratorios certificados y reportados dos veces al año a la SISS, a través del PR018002. En cuanto al caudal de cada fuente, la SISS lo solicita mensualmente a las sanitarias, por medio del PR018001. En cambio, en esta misma **etapa 1**, en todas las operaciones relacionadas al tratamiento del agua cruda hasta convertirla en agua potable, son las que se encuentran más instrumentadas del proceso, existiendo sensores de presión en bombas, sensores de pH, temperatura y caudal. Al finalizar el proceso se miden parámetros químicos, físicos y biológicos de calidad del agua, los cuales se contrastan con la NCh 409 (INN, 2020) para verificar así que el agua cumpla con la norma y sea apta para el consumo humano. Los parámetros de calidad del agua son analizados por laboratorios certificados y enviados mensualmente por las sanitarias a la SISS, a través del PR014001.

En la **etapa 2**, de distribución de agua potable, la mayoría de las sanitarias cuenta con sensores de nivel en los estanques, pero generalmente en la red de distribución la presencia de sensores de presión o de caudal es escasa. Existen ciertas excepciones en algunas sanitarias, que en casos puntuales tienen dividido el territorio operacional en DMA (áreas de medida de distrito), en que se miden presión y caudal. Esto ayuda en la detección de posibles fallas en la red, como rotura de cañerías, fugas y cambios anormales de presión o caudal. De todas formas, la SISS ha establecido puntos de control de presión, en los cuales las empresas sanitarias deben medir e informar mensualmente sobre la presión a la SISS, a través del PR013001.

Las **etapas 3 y 4** no forman parte del alcance de este proyecto, ya que se refiere a la recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas. Aun así, se puede indicar que es de las menos instrumentadas y que generalmente existen medidores de nivel en los estanques que se encuentran a la entrada de las plantas de tratamiento (etapa 4). Por normativa se deben analizar parámetros físicos, químicos y biológicos del agua que retorna a los cauces naturales, como esteros, ríos o mar, para que no presenten riesgo en la salud de las personas ni en el ecosistema, según el Decreto 90 (BCN, 2001).

En general, las empresas están en proceso de mejorar sus sistemas de monitoreo, telemetría y telecontrol, recurriendo incluso a la asesoría de entidades extranjeras con mayor experiencia en estas materias. Esto apunta a obtener importantes reducciones del ANC y de la frecuencia de aparición de averías, así como un aumento en la vida útil de la infraestructura, reducción del consumo energético y de mano de obra, a la vez que aumentan los niveles de calidad del servicio prestado al cliente. Dentro de las iniciativas en desarrollo, destacan algunos casos con sistemas de inteligencia artificial, big data, gemelos digitales, modelos hidráulicos y softwares inteligentes para el análisis de redes, y existen también proyectos de trabajar en la predicción de demanda, considerando, entre otras, las variables meteorológicas y en simulaciones hidráulicas en línea.



SSAT

Análisis

Andacollo

Seleccione índice a analizar/ predecir

Hola Mario

- Cortes
- Presiones
- Reclamos
- Facturación
- Análisis

### Análisis > Cortes

Corte Programado X Motivo HDPE X

#### Predicción a futuro

Random Forest X Cantidad de estimadores: 5 Cantidad de datos pasados: 6

100720	0.04	0.04	0.04	0.17	0.12	0	0.01
100720	0.04	0.04	0.04	0.17	0.12	0	
100720	0.04	0.04	0.04	0.17	0.12	0	
100720	0.04	0.04	0.04	0.17	0.12	0	

Selección Cuartel: 100720 X 1007287 X 1008865 X



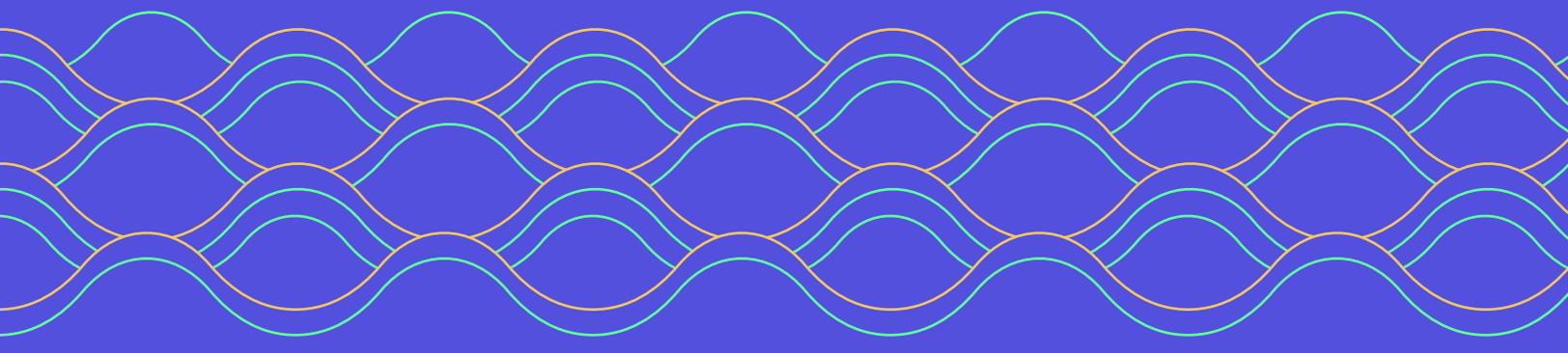
YEARLY BUDGET



### PARTE III.

---

## SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y ALERTA TEMPRANA



Esta parte presenta, en primer lugar, una descripción de los sistemas de supervisión y alerta temprana (SSAT), sus características y funciones a nivel general, y proporciona ejemplos relevantes de aplicación a nivel internacional. A continuación, se describe en detalle el prototipo desarrollado en la Región de Coquimbo, mostrando sus capacidades y posibles aportes para la SISS. Posteriormente, se analizan las brechas del sistema de supervisión de agua potable urbano chileno, considerando las potencialidades de un SSAT con las capacidades disponibles (capítulos 7 y 8).

Una vez determinadas estas brechas, se establecen prioridades estratégicas para implementar el sistema de supervisión a nivel país. Esto considera tres aristas: i) expansión territorial del SSAT, ii) cambios e innovaciones, y iii) beneficios esperados. La expansión territorial se refiere a una recomendación sobre la progresión y escalamiento nacional del SSAT en función del riesgo compuesto de fallas de suministro ante las amenazas del cambio climático, y aumento de demanda por desarrollo urbano y económico. Respecto a los cambios e innovaciones, se consideran dos horizontes temporales (de cinco y diez años) y son definidos para tener un SSAT robusto y moderno, y así hacer más eficiente y eficaz la fiscalización de la Superintendencia. En cuanto a los beneficios esperados, estos se refieren a las utilidades que conlleva el ejecutar la Hoja de Ruta y se materializan con una menor cantidad de reclamos, con menos cortes no programados y con menos sanciones a las empresas sanitarias. Finalmente, en esta parte se entrega un presupuesto, en el cual se consideran los cambios recomendados a ejecutar en dos horizontes temporales: a cinco y diez años.

## 7. DESCRIPCIÓN DEL SSAT

Un sistema de supervisión y alerta temprana es una entidad cibernética, cuyo objetivo central es hacer disponibles los datos resultantes de la operación de los servicios sanitarios y en base a ellos identificar riesgos para la correcta prestación de los servicios, emitir alertas sobre su ocurrencia, monitorizar su estado de evolución, generar predicciones sobre sus posibles efectos y, en algunos casos, recomendar acciones para mitigarlos.

En el contexto de los servicios de agua potable urbanos, un SSAT es una herramienta que permite, en alguna medida, entre otros: i) evaluar la calidad de servicio, ii) determinar riesgos en la prestación de los servicios, iii) identificar ineficiencias en la red de distribución y iv) gatillar acciones correctivas que contribuyan a mejorar la prestación de los servicios. Un SSAT conjuga funcionalidades de los sistemas de control

supervisor y adquisición de datos (SCADA), y de los sistemas de alerta temprana (EWS), por ende, hereda su arquitectura base, la que puede ser conceptualizada en tres grandes bloques funcionales:

**1. Adquisición de datos:** Se refiere al conjunto de funcionalidades que permiten al sistema interactuar con las distintas fuentes generadoras de datos, como sensores de campo o bases de datos externas, con el fin de obtener los datos necesarios para la operación del SSAT. Habitualmente se incluye la posibilidad de adquirir datos mediante el ingreso manual por parte de un operador humano en base a una interfaz humano-máquina.

**2. Almacenamiento y análisis de datos:** Se refiere al conjunto de funcionalidades que permiten al sistema consolidar, estandarizar, hacer disponible y analizar los datos, con el fin de evaluar el estado operacional de los procesos bajo supervisión y determinar la existencia de amenazas o condiciones anómalas. En su forma más avanzada, un SSAT tiene la capacidad de tomar decisiones de manera autónoma, dando lugar a un sistema de control automático, mientras que, en su forma más primitiva, el SSAT únicamente presenta la información para su análisis por parte de un experto. La mayoría de las implementaciones reales se ubican entre los extremos, donde el SSAT realiza análisis estadísticos de información histórica y cuenta con modelos para predecir variables de interés, y los resultados se presentan a un experto para la toma de decisiones.

**3. Visualización de información y generación de alertas:** Se refiere al conjunto de funcionalidades que permiten al sistema hacer disponible información de interés para los usuarios finales, ya sea mediante una interfaz humano-máquina, reportes autogenerados o mensajes asíncronos de alerta. La tendencia actual apunta a que un SSAT cuente con una interfaz del tipo dashboard para visualización en tiempo real y pueda participar en redes sociales, públicas o privadas, para la disseminación de mensajes de alerta.

Si bien la arquitectura base es transversal a todo SSAT, el caso particular de un SSAT para servicios de agua potable urbanos concesionados plantea funcionalidades particulares dentro de cada bloque; la más notoria es que la dimensión geográfica se vuelve relevante. Por ende, el SSAT a desarrollar debe incorporar funcionalidades de sistemas de información geográfica en sus dimensiones de análisis y visualización. Adicionalmente, el panorama cambiante de la instrumentación de campo para sistemas de agua potable, que ha tomado relevancia con la proliferación de tecnologías llamadas Smart

Water, requiere que un SSAT para servicios de agua potable sea altamente flexible en los mecanismos de adquisición de datos, debido a que no existe una recomendación madura en cuanto al número y naturaleza de variables a adquirir. Este último punto repercute adicionalmente en una necesidad de flexibilidad a nivel de almacenamiento y análisis de datos. Tomando en cuenta además las funcionalidades base de un SSAT, es posible generar el siguiente listado de funcionalidades mínimas que un SSAT para servicios de agua potable urbanos concesionados debe poseer:

• **Funcionalidades sobre la adquisición de datos, que permiten:**

1. Usar como fuentes de datos instrumentos que posean capacidades de medición y comunicación por protocolos estandarizados.
2. Implementar módulos de adquisición de datos en línea que operen de forma sistemática, continua y automática.
3. Conexión e interoperabilidad con los sistemas de automatización de las empresas de servicios sanitarios para la adquisición directa de datos.

• **Funcionalidades sobre el almacenamiento y análisis de datos, que permiten:**

4. Validar, resguardar, respaldar y estandarizar los datos.
5. Procesar y desplegar los datos en términos de sus atributos.
6. Proporcionar información (datos procesados y estandarizados) confiable y en tiempo real.
7. Calcular en tiempo real diversos indicadores de calidad de servicio.
8. Implementar modelos predictivos, univariados y multivariados, en base a información histórica.

• **Funcionalidades sobre la visualización de información y generación de alertas, que permiten:**

9. Monitorear las variables involucradas en la calidad de servicio.
10. Monitorear variables y alertar tempranamente eventos especificados en normativas legales y de operación.

11. Desplegar información en la forma de un sistema de información geográfica.

12. Generar reportes de monitoreo y operación, diarios, mensuales, trimestrales y anuales, según corresponda.

13. Almacenar y desplegar información para gestión del riesgo.

14. Generar una alerta ante eventos de emergencia.

15. Categorizar las alertas según el tipo y riesgo del evento.

• **Funcionalidades generales, que aplican al empaquetamiento e instalación del SSAT, que permiten:**

16. Asegurar el funcionamiento del SSAT durante una emergencia, fallo o anomalía en el sistema.

17. Hacer del SSAT un sistema multiplataforma.

Para la implementación del SSAT, se deben materializar los bloques funcionales, para lo que existen numerosas alternativas que guían el diseño de la arquitectura informática (hardware, software y comunicaciones), en base a las llamadas arquitecturas de referencia. Los recientes avances en las tecnologías de información y comunicaciones, que han dado lugar al paradigma del Internet de las Cosas (IoT) y su aplicación a entornos industriales (IIoT), han impactado la concepción clásica de un SSAT. Este actualmente se concibe como un sistema IIoT que involucra: i) instrumentación inteligente capaz de generar mediciones en tiempo real, ii) herramientas de almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, y iii) visualización y reportería en entornos web. Consecuentemente, las arquitecturas orientadas a sistemas IIoT toman relevancia como la alternativa natural para diseñar un SSAT moderno. Entre las arquitecturas para sistemas IIoT más maduras, destacan:

**1. Reference Architecture Model for Industrie 4.0 (RAMI 4.0):** La cual fue creada para dar guía a los grupos interesados en migrar desde los sistemas industriales tradicionales hacia sistemas que respondan al paradigma de la industria 4.0.

**2. Industrial Internet Reference Architecture (IIRA):** La cual es una arquitectura abierta para sistemas IIoT, diseñada para ser utilizada en un amplio rango de tipos de industrias, junto con permitir la interoperabilidad entre diversas tecnologías, manteniendo un estándar de desarrollo.

**3. IoT World Forum Reference Model:** El cual plantea una arquitectura simple dividida en siete capas, desde la instrumentación de campo hasta la toma de decisiones.

La arquitectura de referencia a utilizar para la implementación del SSAT dependerá de las competencias del equipo desarrollador y del alcance del SSAT, siendo la propuesta del IoT World Forum la más simple y adecuada para un sistema inicial, y la IIRA la opción natural cuando el SSAT debe interoperar con otros sistemas existentes.

## 8. CASOS DE ÉXITO DE SSAT A NIVEL INTERNACIONAL

Los SSAT para servicios de agua potable urbanos han surgido como herramienta estándar para la gestión operacional en los últimos años, impulsados principalmente por los avances en las tecnologías de sensorización y comunicaciones, las que han hecho disponible una gran cantidad de datos mediante la adquisición y transmisión en tiempo real. A continuación, se describen algunos casos de éxito internacional, identificados como posibles referentes para la modernización de los sistemas existentes en Chile.

### 8.1. Barcelona, España

Un ejemplo concreto es el SSAT implementado en Barcelona, España, el cual es una iniciativa público-privada que involucra activamente a la Universidad Politécnica de Cataluña. El suministro de agua para la ciudad de Barcelona se obtiene principalmente de los ríos Ter y Llobregat, cuyas cuencas son responsabilidad de la Agència Catalana de l'Aigua (ACA). La captación, tratamiento y transporte de agua potable son gestionados por la compañía ATLL Concessionària de la Generalitat de Catalunya, la cual surte de agua potable a nueve compañías (públicas y privadas) encargadas de la distribución a los clientes finales. El consorcio público-privado Aigües de Barcelona (AB) gestiona la sección de la red de distribución donde se encuentra el SSAT. El sistema supervisa y controla en tiempo real una red de distribución que abarca 424 km<sup>2</sup> y sirve a más de tres millones de clientes. La red de distribución bajo estudio consta de 4.645 km lineales de tuberías y está dividida en 218 sectores de demanda, los cuales representan una sección que sirve a un valor constante de presión (Cembrano et al., 2004).

En términos de adquisición de datos, el sistema de Barcelona incluye las siguientes fuentes de datos (Cembrano et al., 2004):

1. Sensores de flujo y de presión en dos puntos de control por cada sector, los cuales transmiten datos a una tasa de 1 dato/10 min.
2. Sensores de calidad de agua, los cuales transmiten mediciones de: concentración de cloro, conductividad eléctrica, pH y temperatura, a una tasa de 1 dato/hora.
3. Medidores inteligentes en algunos sectores, que proveen consumo horario de los clientes.
4. En los sectores que no cuentan con medidores inteligentes, se obtiene consumo mensual mediante una carga de datos desde una base de datos externa.

En términos de almacenamiento y análisis de datos, los datos se validan y almacenan en un sistema SCADA propietario (Cembrano et al., 2004), sobre el cual se realizan análisis avanzados que permiten al sistema detectar filtraciones y controlar las presiones en tiempo real (Pérez et al., 2011). Específicamente, el sistema cuenta con modelos hidráulicos basados en principios y modelos del tipo seasonal ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Averages) para predicción de demanda a corto plazo. Estos sirven de base para controladores predictivos, encargados de asegurar la calidad del suministro en términos de presiones, actuando sobre válvulas reguladoras de presión de doble cámara y considerando como perturbación el consumo individual de los clientes (Puig et al., 2017). Adicionalmente, en términos de supervisión y detección de anomalías, el sistema supervisa la calidad del agua e infiere la existencia de filtraciones (García et al., 2020).

En términos de visualización y generación de alertas, el sistema utiliza los dashboards propios del sistema SCADA y no incluye herramientas avanzadas de reportería. Es en este bloque funcional donde el sistema de Barcelona presenta una brecha respecto al conjunto de funcionalidades mínimas definidas en el capítulo 7, referente a la descripción del SSAT.

### 8.2. Sosnowiec, Polonia

Un segundo ejemplo concreto es el SSAT implementado en Sosnowiec, Polonia. Sosnowiec tiene una población de 220.000 habitantes y cuenta con una red de distribución de agua de aproximadamente 578 km de tuberías. La empresa regional de abastecimiento de agua y saneamiento de Sosnowiec cuenta con un sistema de seguimiento del consumo de agua municipal, aunque compra el agua potable a la Empresa de

Suministro de Agua de la Alta Silesia. Se trata de un sistema cerrado y de fácil control, que en total tiene cuarenta y cuatro pozos de compra de agua, los cuales distribuyen agua a los diferentes distritos de la ciudad. Cada zona generalmente se alimenta de un solo pozo y cuando hay fallas en el sistema de distribución de agua (WDS), el agua se transfiere desde otra(s) zona(s) (Samborska, 2015a, 2015b). Para intentar reducir el consumo de agua en la ciudad y las fugas del sistema de distribución, el proyecto ISS-EWATUS (Sistema de apoyo integrado para el uso eficiente del agua y la gestión de recursos) implementó un sistema SSAT en base a una serie de intervenciones a nivel doméstico y urbano.

En términos de adquisición de datos, el sistema de Sosnowiec incluye las siguientes fuentes de datos (Froelich y Magiera, 2018; Magiera y Froelich, 2014; Yang, 2017; Samborska, 2015a, 2015b):

1. Sensores de presión y flujo en los pozos de compra de agua y en medidores zonales, los cuales transmiten, mediante tecnologías celulares, datos a intervalos entre un segundo y una hora.
2. Medidores inteligentes en los hogares.
3. Sensores de flujo y temperatura del agua en las tuberías de agua en el hogar, los cuales utilizan comunicación Wi-Fi para transmitir las mediciones.
4. Sistema de monitoreo de consumo de agua doméstico basado en tecnología IoT, el cual realiza seguimiento del consumo de agua por electrodoméstico.

En términos de almacenamiento y análisis, los datos a nivel urbano se consolidan mediante el software PMAC Plus (Samborska, 2015b), mientras que los datos a nivel doméstico se consolidan localmente en una base de datos SQL, la cual es accesible desde el exterior. El sistema implementa algoritmos para analizar el patrón de consumo de los clientes y realiza un balance en base a las demandas reales de agua. A partir del balance se optimiza la presión del sistema de distribución, manipulando remotamente válvulas reguladoras de presión. La filosofía de control indica que en períodos de menor demanda el sistema baja la presión, y a mayor demanda el sistema la aumenta. Se reporta que esta estrategia fue capaz de reducir las fugas. En base a los patrones de consumo, el sistema genera modelos de predicción utilizando redes bayesianas y mapas cognitivos difusos (Froelich y Magiera, 2018).

En la visualización y generación de alertas, el sistema permite a los residentes configurar alarmas relacionadas con la funcionalidad de la red y dispone de mapas de calor de la demanda de agua para varios parámetros orientados a la estacionalidad (Froelich y Magiera, 2018). Adicionalmente, cada hogar instrumentado cuenta con una tablet que permite visualizar el consumo de agua, desglosado por electrodoméstico, en un período de tiempo determinado. Los usuarios pueden establecer una meta para reducir su consumo total de agua y el software da recomendaciones para lograr el objetivo.

### 8.3. Seosan, Corea del Sur

Un tercer ejemplo es el sistema ejecutado en la ciudad de Seosan, en Corea del Sur, específicamente en el municipio de Palbong-myeon. La distribución de agua potable en esta ciudad es realizada por K-Water, agencia gubernamental para el desarrollo integral de los recursos hídricos en Corea (K-Water, 2018).

Seosan tiene una población de 173.715 habitantes y un área de 741,21 km<sup>2</sup>, de los cuales 51,34 km<sup>2</sup> corresponden al municipio de Palbong-myeon. La presa de Boryeong es la principal fuente de agua de la ciudad y las tuberías de suministro de agua potable tienen un largo de 2.041 km; por su parte, las tuberías de Palbong-myeon tienen una longitud de 218 km (K-Water, 2018).

El objetivo principal de K-Water consistió en construir un sistema inteligente de gestión del agua para reducir el consumo de agua y las fugas, mediante el uso de medidores inteligentes, transmisión inalámbrica de datos y sistemas de toma de decisión. Esto además ha significado un ahorro de energía y un aumento en la satisfacción de los clientes, ya que los reclamos se atienden con mayor prontitud y proporcionan una gestión adicional de la calidad de los servicios sanitarios (K-Water, 2018; Lee, 2019).

Inicialmente, el área de medición del distrito (DMA) contaba con dos divisiones: P-A y P-B, y el nuevo sistema dividió los distritos en nueve subdistritos (SDMA) e implementó medidores inteligentes en estos. El sistema se basa en una suite informática propietaria denominada Smart Water Management, la cual ha sido implementada parcialmente en otras locaciones e incluye las siguientes fuentes de datos (K-Water, 2018):

1. Medidor digital de caudal en los hogares y en las tuberías. Estos medidores digitales convierten los datos de caudal medido en señales eléctricas y los transmiten en función del tiempo; así se detectan sobrecargas y fugas.
2. Transmisor remoto, el cual recopila datos del medidor cada hora y transmite los datos cada cuatro horas a una estación base. El transmisor tiene una pantalla LCD, una potencia de 1 W y una batería de 19 Ah, que permite ocho años de funcionamiento (consumo de energía de 2 Ah/año).
3. Estación base, que cuenta con una cobertura de transmisión inalámbrica de área amplia (distancia de transmisión: aproximadamente 1,5 km), bajo costo de operación, bajo consumo de energía, ultracompacto y fácil de aplicar en IoT/M2M.
4. Sistema de monitoreo, el cual muestra el estado de la conexión y el consumo en tiempo real. Los datos de lectura del medidor se pueden adquirir y analizar cada hora, día y mes. Asimismo, calcula el volumen de agua suministrado y proporciona información sobre fugas dentro de la red de suministro de agua.
5. Válvulas reductoras de presión (PRV), que se ubican en cada zona de presión regulada y se ajustan de acuerdo con la temporada y hora del día, ya que reaccionan de forma flexible a cualquier problema de suministro de agua.

En términos de almacenamiento y análisis de datos, los datos a nivel urbano se consolidan en una aplicación SCADA propietaria que cuenta con modelos para detección de filtraciones y control de presión, en base a un algoritmo de reconocimiento de patrones. En términos de visualización, el sistema presenta información en un entorno web mediante dashboards de operación. Esto ha permitido evitar roturas de tubería y reducir fugas, producto de altas presiones innecesarias, siendo más eficaces en el uso del caudal (K-Water, 2018; Lee, 2019).

## 9. PROTOTIPO DEL SSAT EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

Los Sistemas de Supervisión y Alerta Temprana surgen como una herramienta para apoyar la labor de fiscalización oportuna a la SISS, contribuir a su Plan de Modernización y a su Plan Estratégico Nacional Para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020-2030, específicamente con los objetivos 2.2 (a través de su acción 2.2.4) y 4.1 (a través de su acción 4.1.1) del Plan Estratégico, orientados a “fortalecer competencias y capacidades para la gestión del riesgo de desastres en el sector sanitario” y “fortalecer los sistemas de alerta temprana, de monitoreo y de comunicaciones”, respectivamente. Referente al Plan de Modernización, el SSAT apoya la indicación que trata sobre la automatización de análisis de datos.

Con el fin de evaluar la aplicabilidad de un SSAT para los servicios de agua potable urbanos concesionados en el marco de la realidad chilena, la Pontificia Universidad Católica de Chile ha desarrollado, a solicitud de la SISS, un prototipo enfocado en la Región de Coquimbo. En esta región operan cuatro empresas de producción y distribución de agua potable para un total de 249.412 clientes, hasta diciembre de 2019, lo que equivale a una población estimada de 598.399 personas. La empresa que concentra la mayor cantidad de clientes es Agua del Valle, la cual presta servicios a 246.464 clientes (98,82% de la región); esta es seguida muy de lejos por Aguas La Serena con 1.473 clientes (0,59%), luego por Empresa de Servicios Sanitarios San Isidro (ESSI), que atiende a 1.170 clientes (0,47%); y finalmente por la Empresa de Servicios Tortalillo (ESETO), que tiene 305 (0,12%) (SISS, 2020e). Aguas del Valle cuenta, al año 2019, con una red de distribución de agua potable de 2.052 Km de tuberías y una capacidad total de producción de 3,642 (m<sup>3</sup>/s), de los cuales 2,77 (m<sup>3</sup>/s) corresponden a fuentes subterráneas y 0,868 (m<sup>3</sup>/s) a aguas superficiales (SISS, 2020d).

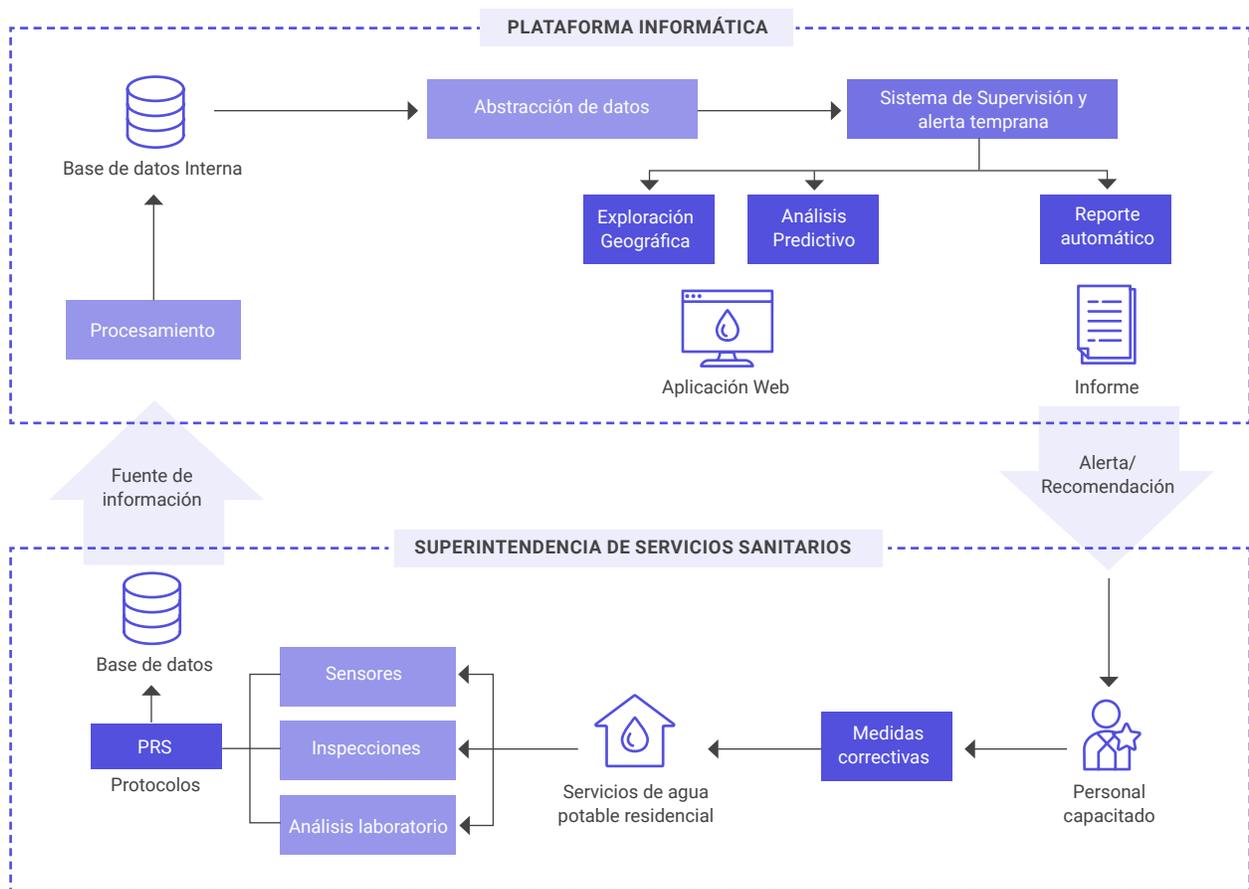
El SSAT implementado en la Región de Coquimbo fue desarrollado como una prueba de concepto para demostrar las capacidades del sistema que se pretende desarrollar a nivel nacional y los aportes que brinda a la SISS. El prototipo consolida los datos de los protocolos de información desde el año 2018, sin desmedro que se pueden incorporar más datos de años anteriores, según requerimiento de la SISS. Los protocolos que consolida el prototipo son:

- PR013001: Indicadores de calidad de servicio.
- PR019001: Control de facturación mensual.
- PR012001: Nueva base de infraestructura.
- PR035001: Sectorización de redes.

### 9.1. Módulo de Exploración Geográfica (MEG)

A partir de dichos protocolos se genera una base de datos local del tipo grafo, que alimenta una aplicación web, con un sistema de información geográfica, una aplicación de análisis y una aplicación de reportería automática. La Figura 12 ilustra la operación del prototipo del SSAT en el contexto actual de la SISS.

Figura 12. Concepto de operación del SSAT prototipo en el contexto actual de la SISS.



En la Figura 12 se aprecia cómo el personal fiscalizador recibe apoyo del SSAT, ya sea mediante el sistema de información geográfica, la aplicación de análisis o el informe automático, para gestionar las fiscalizaciones en base a evidencia, cuyo impacto a su vez se verá reflejado en los datos que la sanitaria debe reportar periódicamente a la SISS, generando una realimentación que contribuye a mejorar continuamente la calidad del servicio.

Esta herramienta prototipo comprende las funcionalidades mínimas de un SSAT. Se implementó como un sistema diseñado, siguiendo el modelo de referencia IoT World Forum y la arquitectura corresponde a un esquema de siete capas o niveles jerárquicos. La Figura 13 presenta el diagrama de los niveles, en que los tres niveles inferiores materializan el bloque de adquisición de datos, los niveles 4 y 5 materializan el bloque de almacenamiento y procesamiento, y el nivel 6 corresponde al bloque de visualización. La séptima capa contempla los procedimientos y escapa del alcance de los aspectos informáticos del sistema.

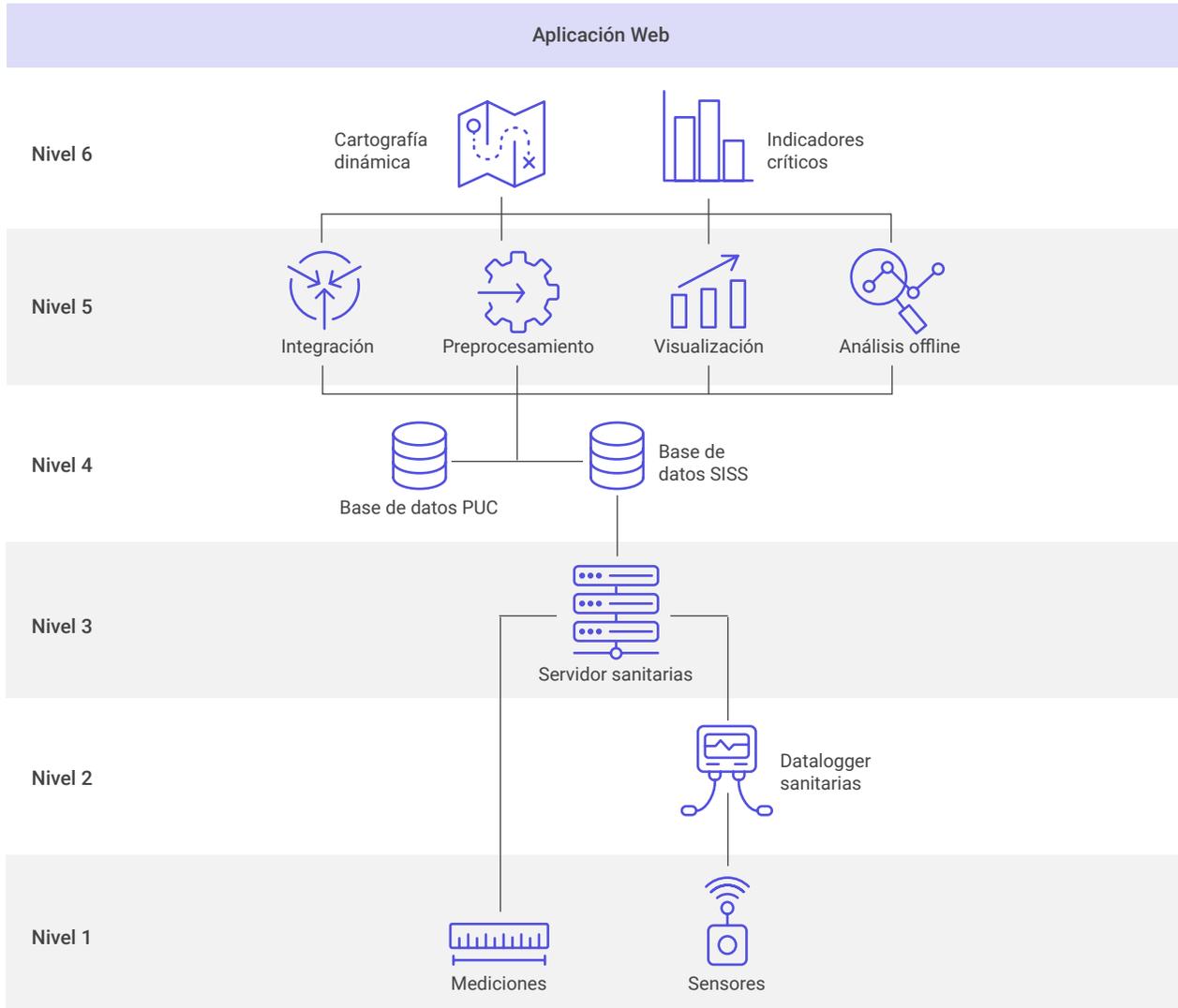
La adquisición de datos del sistema considera como fuente de datos los protocolos de información emitidos por la sanitaria, según ordenanza de la SISS. En términos de almacenamiento y análisis de datos, el prototipo implementa una base de datos, siguiendo un modelo orientado a grafo, que permite, entre otras cosas, integrar los distintos protocolos de manera sencilla, acceder a la información de forma eficiente y, sobre todo, poder variar arbitrariamente el schema si la situación lo amerita, a modo de optimizar el rendimiento de las queries, añadiendo una versatilidad difícil de lograr con bases de datos relacionales como SQL.

En relación con la visualización, el sistema presenta en un entorno web una interfaz del tipo sistema de información geográfica, en la cual se presenta la información de los protocolos sobre un mapa interactivo que incluye los shapefiles de comunas, sectores y cuarteles, y se expone un panel con estadísticas y gráficas de indicadores clave en función del tiempo. Esto facilita el análisis de tendencias, con el fin de determinar las zonas geográficas (comunas, sectores y cuarteles) que presentan peor calidad de servicio y las que han mostrado un decaimiento en la calidad de servicio durante los últimos meses.

Las funcionalidades base de la interfaz humano-máquina del SSAT son: un mapa interactivo que despliega las zonas geográficas, siguiendo un código de colores en función del valor del indicador de calidad de servicio; un panel donde se selecciona el indicador de interés y diversos filtros, como los geográficos y de fechas. Adicionalmente, el sistema cuenta con dos herramientas: una de reportería automática, la que envía por correo electrónico un reporte mensual, resumiendo los indicadores de calidad de servicio; y una herramienta de análisis, que entrega como resultado un índice de calidad de servicio.

En el diagrama de la Figura 13 se aprecia que el prototipo contempla el desarrollo a partir de la cuarta capa del modelo, en particular desde la conexión al servidor de base de datos de la SISS. Las capas inferiores son de responsabilidad de las sanitarias y se encuentran implementadas para dar cumplimiento a la normativa que exige la entrega de los protocolos, lo que garantiza la disponibilidad de los datos utilizados por prototipo.

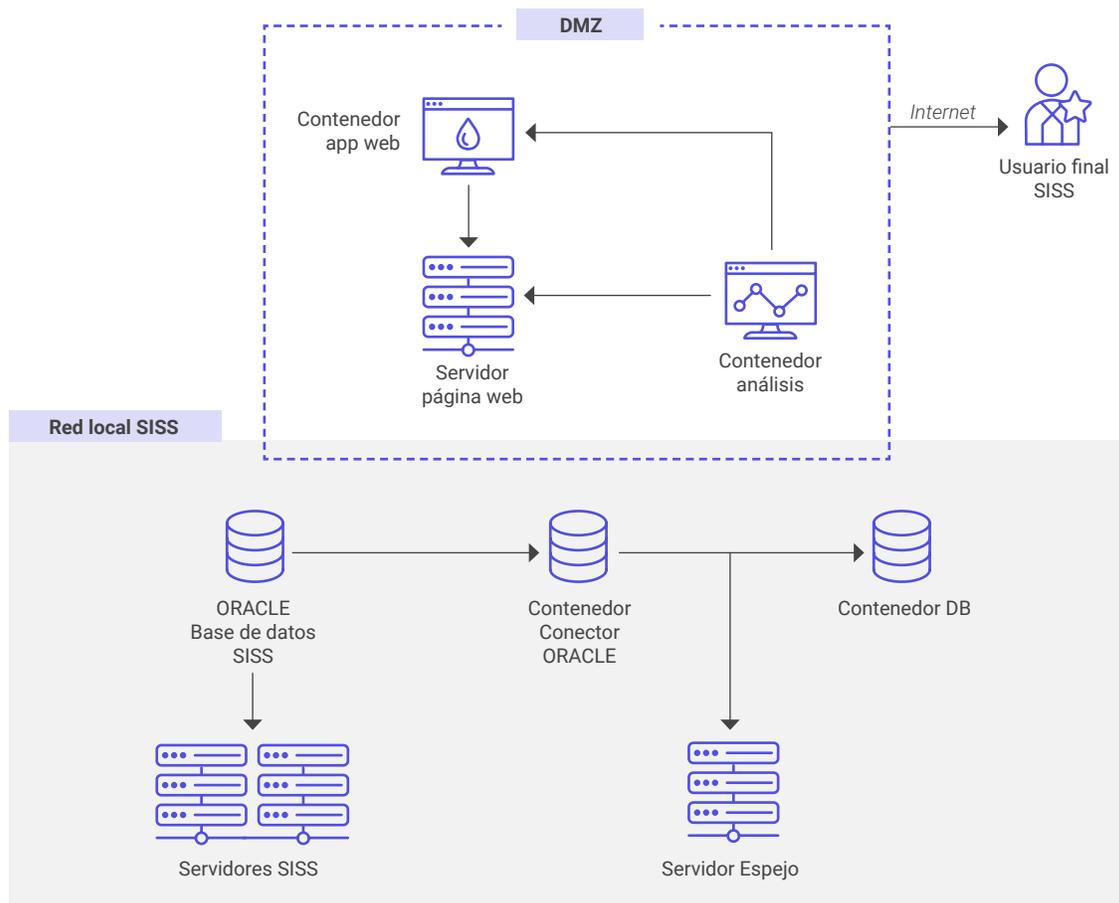
Figura 13. Diseño conceptual del sistema de monitoreo en base al modelo de referencia IoT World Forum.



La implementación del sistema en las dependencias de la SISS se realizó en base a un esquema de dos servidores y la generación de una zona desmilitarizada (DMZ) que contribuya a la seguridad informática, en base a los estándares que la SISS debe cumplir como entidad gubernamental. Un primer servidor (llamado servidor espejo) se localiza en la red interna de la SISS y aloja la base de datos del sistema, una aplicación para la conexión con el servidor de base de

datos de la SISS y la aplicación de análisis, mientras que un segundo servidor (llamado servidor página web) se localiza en la DMZ y sirve la aplicación de visualización. Para mejorar la portabilidad y facilitar la implementación y testeado de nuevas funcionalidades, las aplicaciones se empaquetaron utilizando contenedores. La Figura 14 ilustra la implementación en base a contenedores y el esquema de dos servidores.

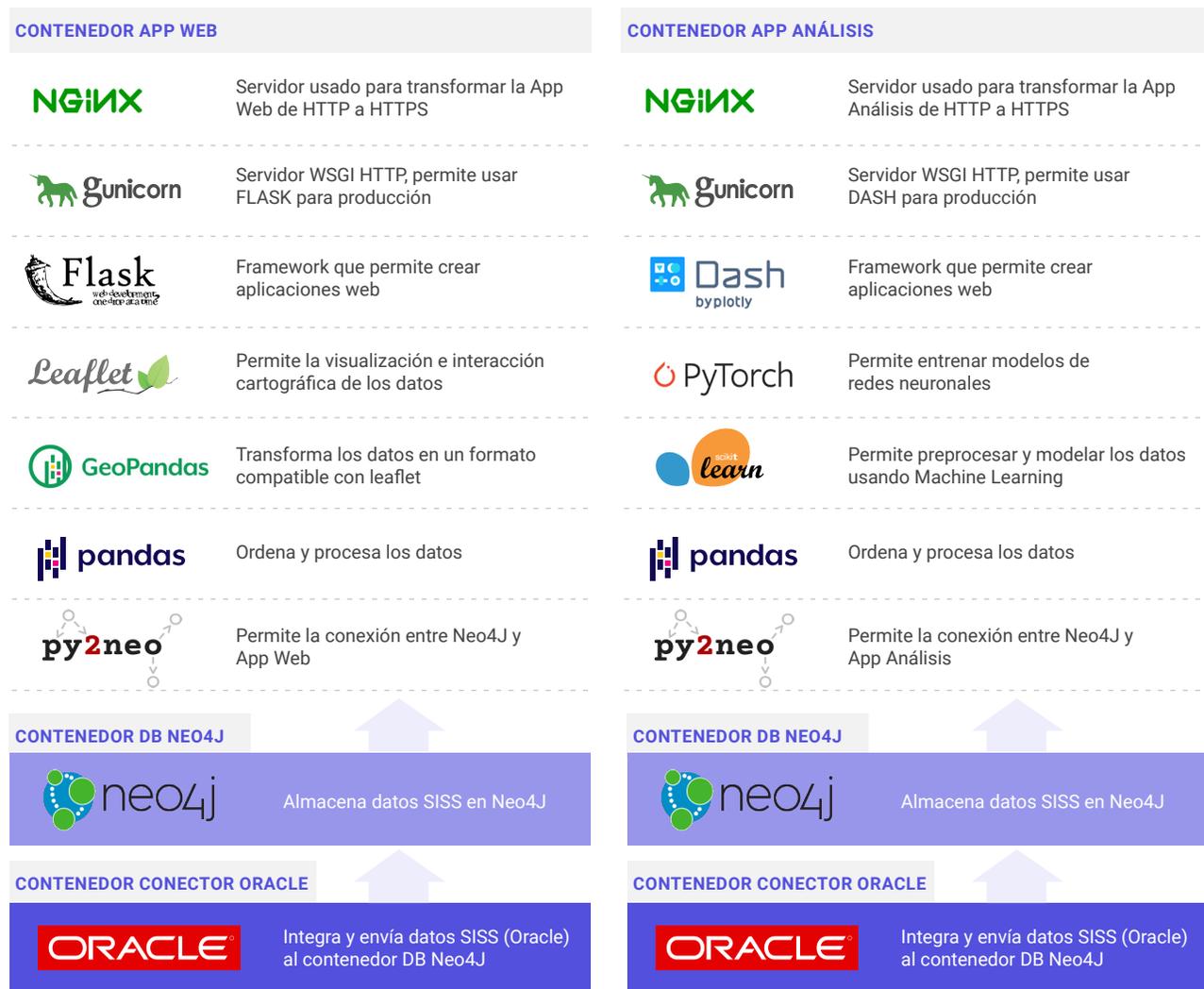
Figura 14. Diagrama de implementación del sistema en base a contenedores y dos servidores en las dependencias de la SISS.



Cada uno de los contenedores que conforman el sistema se encarga de entregar funcionalidades en la forma de servicios. Los contenedores empaquetan las dependencias necesarias para que las aplicaciones operen de forma transparente sobre cualquier plataforma. La Figura 15 ilustra la operación de los contenedores de la aplicación web y de la aplicación de análisis, así como el detalle de las dependencias empaquetadas.

Un punto clave para la implementación del prototipo SSAT es la base de datos del sistema, la cual opera en el contenedor DB (ver Figura 14). La base de datos representa el punto inicial del desarrollo del sistema y de ella depende en gran medida el desempeño de las aplicaciones ubicadas en las capas superiores (ver Figura 13). Tomando en cuenta las propiedades de los registros en los protocolos a incluir en el prototipo y factores de diseño como escalabilidad, eficiencia, velocidad de lectura/escritura, representatividad y capacidad de adaptación, se determinó utilizar un modelo de datos orientado a grafos y Neo4j como sistema de gestión de base de datos.

Figura 15. Mecanismo de operación e implementación del contenedor de la aplicación web y de la aplicación de análisis.



La Figura 16 presenta el schema utilizado en el prototipo, donde los nodos verdes representan unidades geográficas utilizadas por la SISS para el análisis de la calidad de servicio, mientras que los nodos púrpuras representan indicadores de la calidad de servicio. El schema fue diseñado privilegiando el desempeño de las consultas involucradas en el sistema de información geográfica, a modo de garantizar una navegación rápida por los distintos niveles geográficos.

A nivel de aplicaciones, la principal herramienta es la aplicación web, que entrega una interfaz del tipo sistema de información geográfica, en la cual se integra y presenta la información de los protocolos sobre un mapa interactivo que incluye los shapefiles de comunas, sectores y cuarteles, y se expone un panel con estadísticas y gráficas de indicadores clave en función del tiempo.

El acceso al sistema es mediante un login estándar que permite un control de acceso; este se ilustra en la Figura 17.

Figura 16. Schema utilizado en el prototipo del SSAT para modelar los datos de los protocolos.

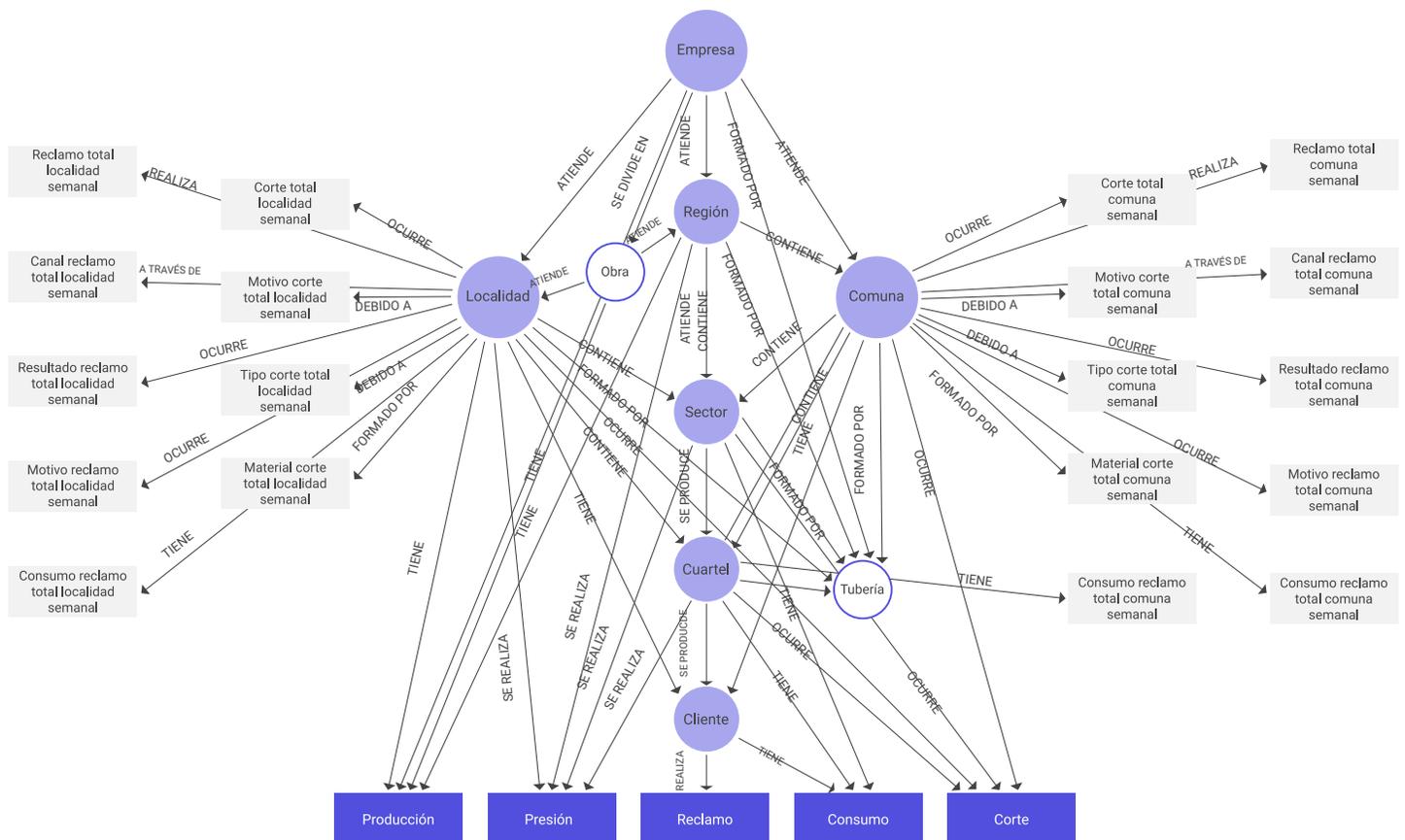
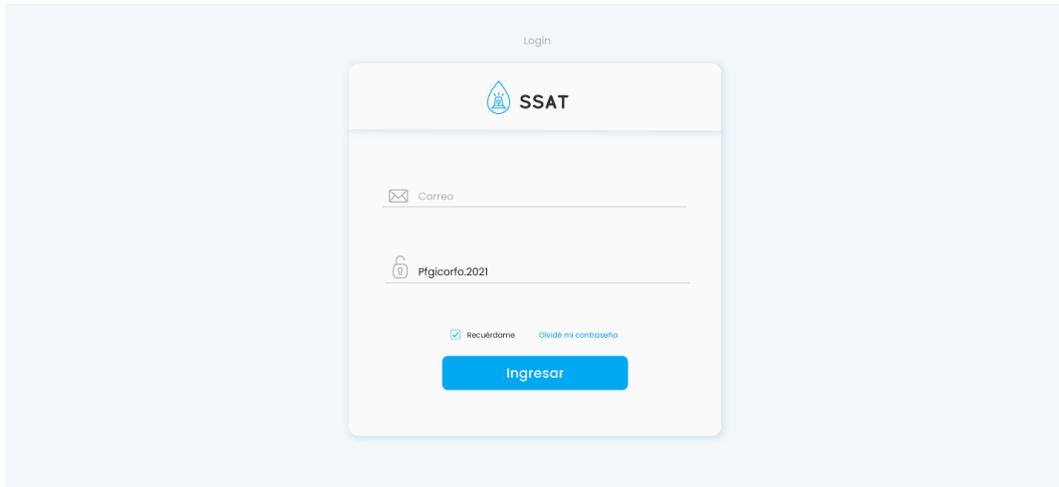


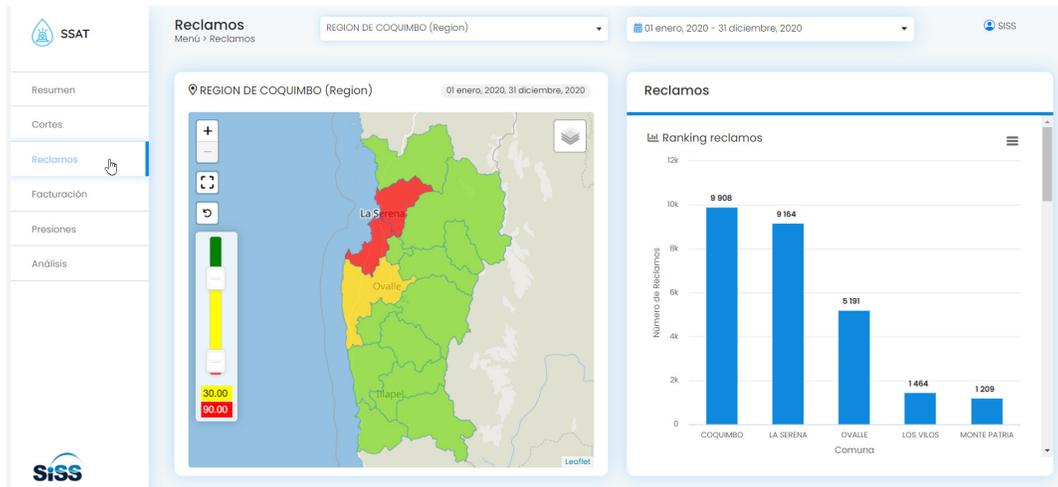
Figura 17. Pestaña de acceso al sistema.



Una vez verificadas las credenciales, se accede al home de la aplicación web. Esta aplicación contiene una serie de vistas, en base a la escala geográfica que se visualiza. A escala regional, el shapefile de comunas permite visualizar

información a nivel comunal, particularmente sobre cortes, reclamos y facturación. La Figura 18 presenta la vista a escala regional.

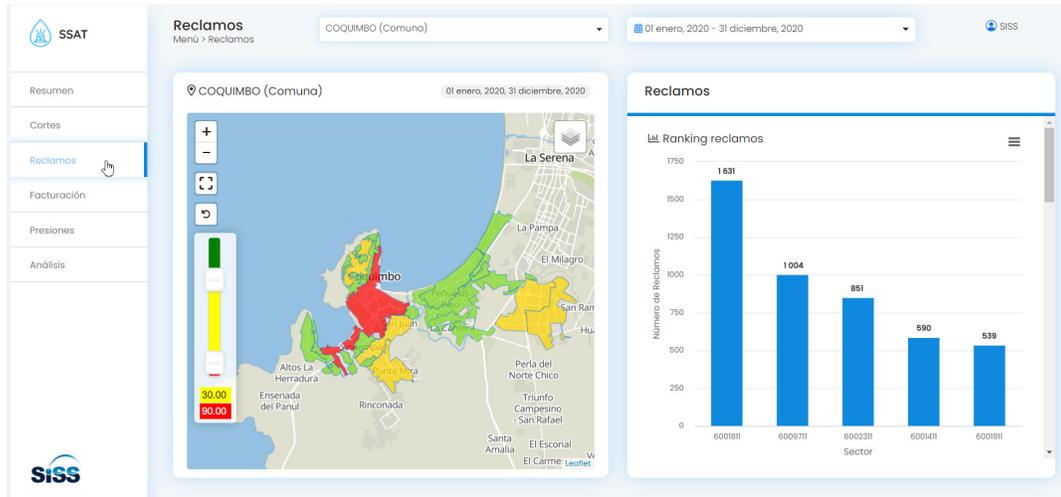
Figura 18. Vista a escala regional, donde se presenta información sobre cortes, reclamos y facturación a nivel de comunas.



A escala comunal, el shapefile de sectores (zonas geográficas servidas a la misma presión desde un punto común de abastecimiento) permite visualizar información a nivel

de sectorial, particularmente sobre cortes, reclamos y facturación. La Figura 19 presenta la vista a escala comunal.

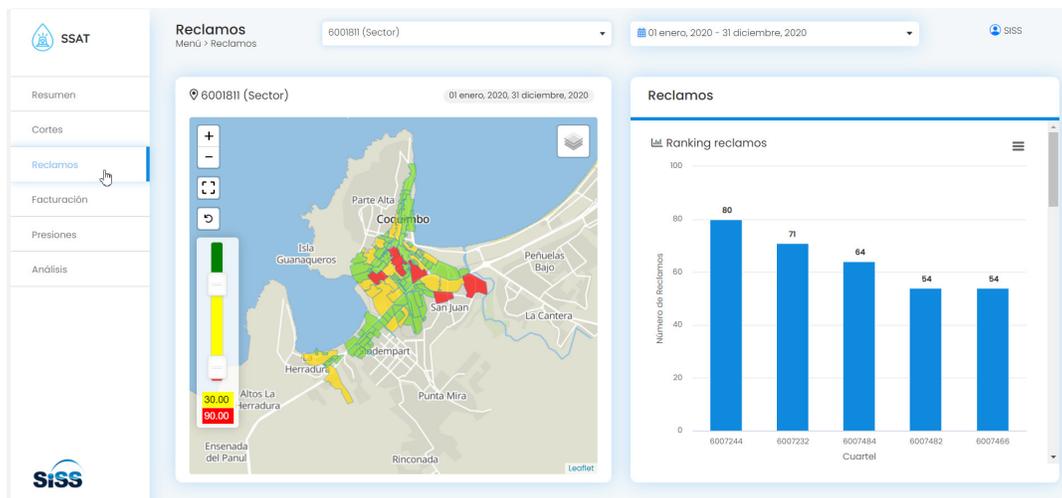
Figura 19. Vista a escala comunal, donde se presenta información sobre cortes, reclamos y facturación a nivel de sectores.



A escala sectorial, el shapefile de cuarteles (mínima zona geográfica que puede ser aislada hidráulicamente) permite visualizar información a nivel de cada cuartel, particularmente

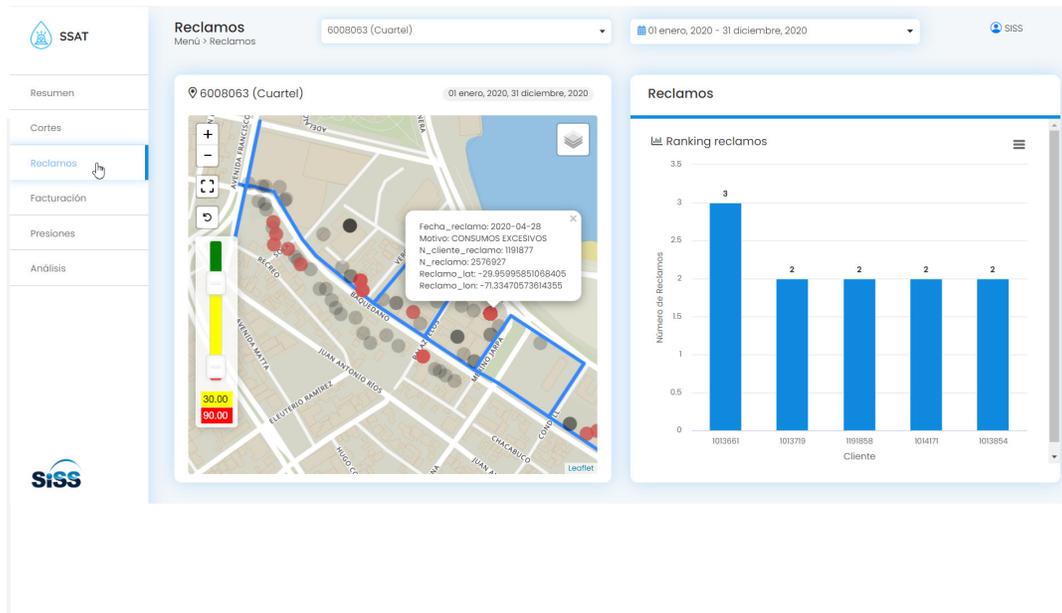
sobre cortes, reclamos y facturación. La Figura 20 presenta la vista a escala sectorial.

Figura 20. Vista a escala sectorial, donde se presenta información sobre cortes, reclamos y facturación a nivel de cuarteles.



A escala de cuarteles (la unidad geográfica de menor extensión), el sistema hace disponible información sobre los clientes de agua potable localizados dentro del cuartel, así como propiedades sobre la red de tuberías que se encuentra en cada cuartel. La Figura 21 presenta la vista a escala de cuarteles.

Figura 21. Vista a escala de cuarteles, donde se presenta información sobre los clientes localizados en cada cuartel y sobre la red de tuberías que abastece el cuartel.



## 9.2. Módulo de Análisis Predictivo (MAP)

Una segunda herramienta del prototipo del SSAT es la aplicación de análisis, la cual se implementa en el contenedor de análisis (ver Figura 14) y se visualiza conjuntamente con

la aplicación web. La Figura 22 presenta la vista inicial de la aplicación de análisis.

**Figura 22.** Pantalla inicial de la aplicación de Análisis. Esta permite seleccionar localidades, índices y fechas, y además aplicar filtros sobre las características propias de cada índice de calidad del servicio.



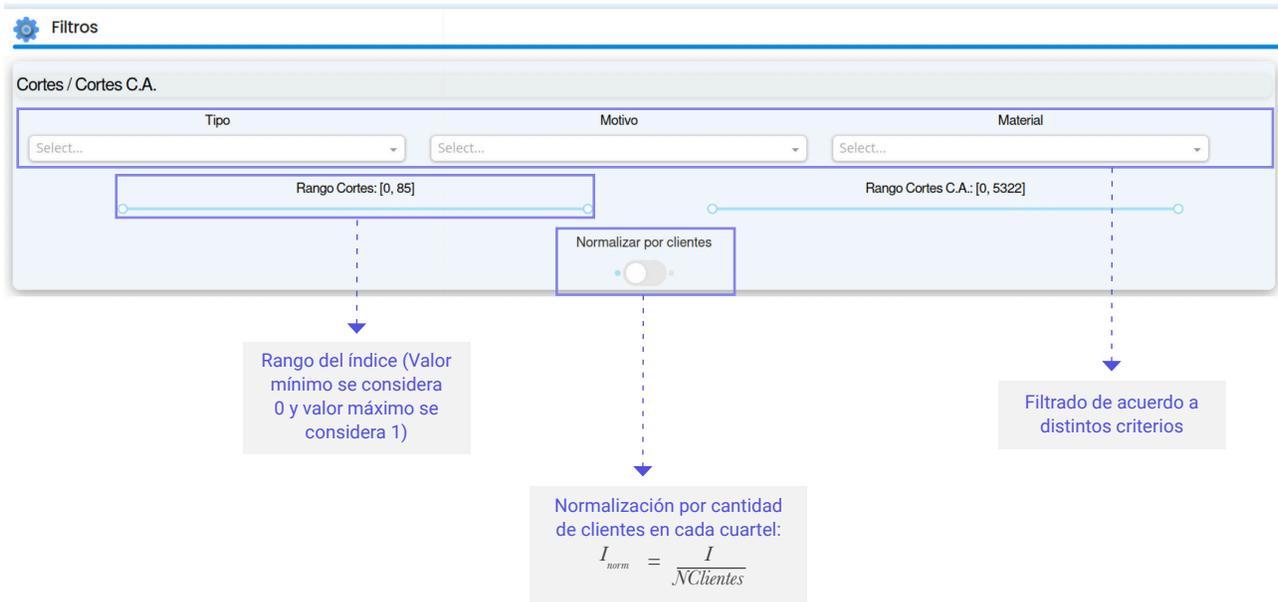
El objetivo principal de esta aplicación es diseñar un índice para establecer una prioridad de fiscalización de cuarteles, en una localidad en específico, basada en modelos predictivos.

Esta aplicación está construida a partir de cuatro submódulos, los cuales se explican a continuación.

### 9.2.1. Submódulo de diseño del índice

Similarmente a la aplicación web, esta hace uso de un índice de calidad del servicio, construido a partir de cada una de las variables. Sin embargo, en este caso el índice es una variable continua de 0 a 1, en donde 0 es considerado muy bueno y 1 es considerado como muy malo. El índice puede ser personalizado mediante el uso de filtros, alterando los rangos y normalizando los valores de cada variable por el número de clientes de cada cuartel, como se muestra en la Figura 23.

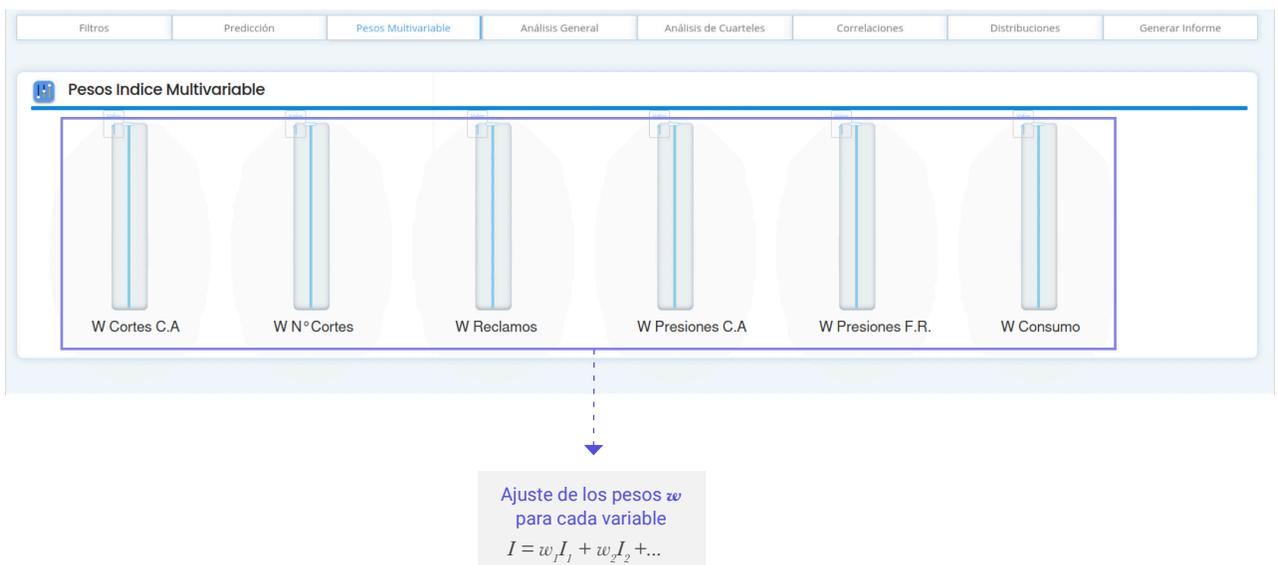
Figura 23. Personalización del índice.



Una de las mayores ventajas de la aplicación de análisis es la utilización de un índice multivariable. Este índice permite la incorporación de todas las variables (o índices univaria-

bles) en un solo índice, en el que las contribuciones de cada variable pueden ser ajustadas al gusto del usuario, como se muestra en la Figura 24.

Figura 24. Creación del índice multivariable.

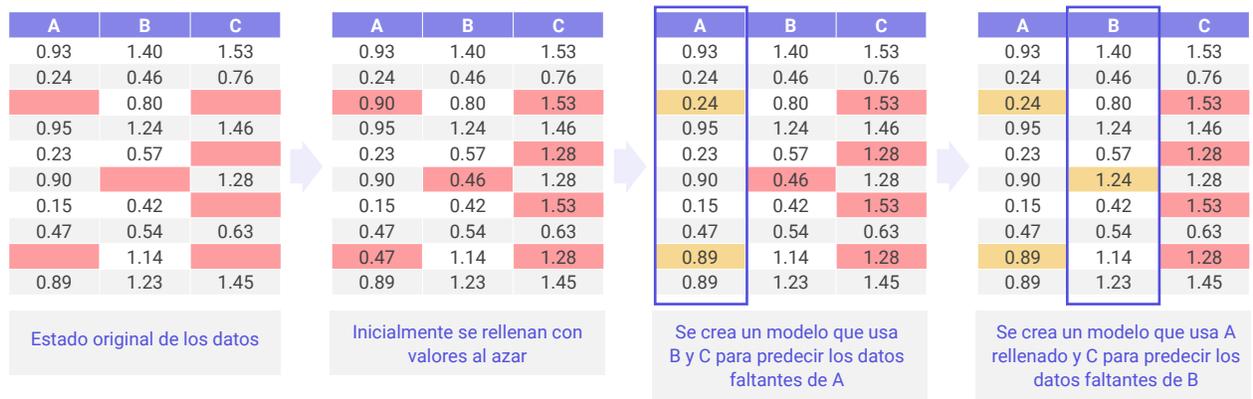


### 9.2.2. Submódulo de rellenado de datos

Debido a que, para ciertos cuarteles, en ciertos períodos de tiempo, no se registran datos de fiscalización, y debido a que los modelos predictivos necesitan datos de entrada confiables para poder realizar predicciones robustas, se utilizó un algoritmo de rellenado de datos para completar los

datos faltantes de manera coherente. El algoritmo utilizado lleva por nombre Multiple Imputation of Chained Equations, el cual es un algoritmo iterativo con el cual se construyen modelos multivariados para rellenar los datos faltantes en cada una de las variables, con el objetivo final de conservar las propiedades estadísticas de ellas. La Figura 25 ejemplifica el funcionamiento del algoritmo.

Figura 25. Funcionamiento del algoritmo de rellenado de datos.



Mismo procedimiento se hace para todas las variables y todo se repite múltiples veces hasta que el algoritmo converja

Para esta implementación en particular se utilizó la librería de Python Mice Forest, la cual utiliza árboles de decisión como modelos. La Figura 26 muestra cómo se pueden

manipular algunos hiperparámetros del algoritmo en la aplicación de análisis.

Figura 26. Uso del algoritmo de rellenado de datos en la aplicación de análisis.

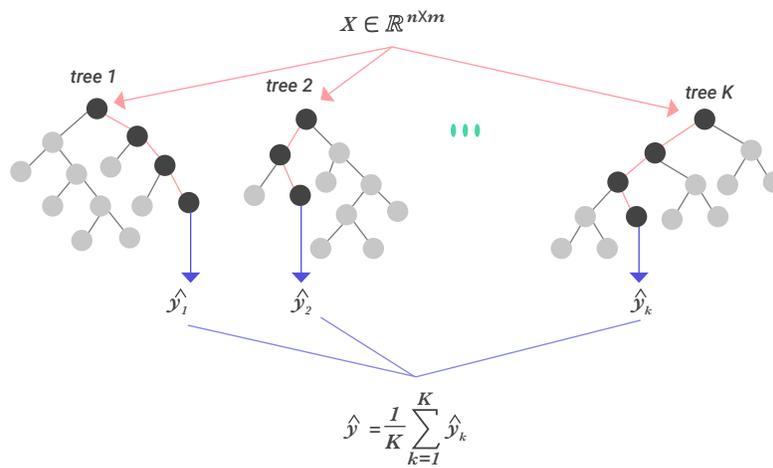


### 9.2.3. Submódulo de predicción

Una vez construido el índice, ya sea univariable o multivariable, se construye un modelo que considera todas las variables disponibles como entrada para predecir el índice seleccionado en un horizonte temporal de doce meses. La aplicación presenta dos opciones de modelo para realizar la predicción: Random Forest y XGBOOST. Esta elección de modelos se basó en la rapidez de entrenamiento, robustez y calidad de predicción, y todo esto con una cantidad de parámetros reducida al comparar con algoritmos similares.

Ambos modelos se basan en la combinación de múltiples árboles de decisión entrenados con distintas porciones de los datos. Una vez entrenados, la predicción final es el promedio de las predicciones de los árboles individuales, obteniendo así una predicción más robusta. La Figura 27 ejemplifica el funcionamiento de este tipo de modelos que, si bien son bastante similares, se diferencian en que XGBOOST hace una mejora iterativa de los árboles, utilizando el descenso del gradiente, por lo que se pueden obtener mejores modelos con la misma cantidad de árboles. Sin embargo, el ajuste de los hiperparámetros de XGBOOST es mucho más tedioso.

Figura 27. Funcionamiento de los modelos basados en múltiples árboles de decisión.



La Figura 28 muestra cómo se pueden manipular algunos de los hiperparámetros de los modelos en la aplicación de análisis.

Figura 28. Uso de los modelos de predicción en la aplicación de análisis.

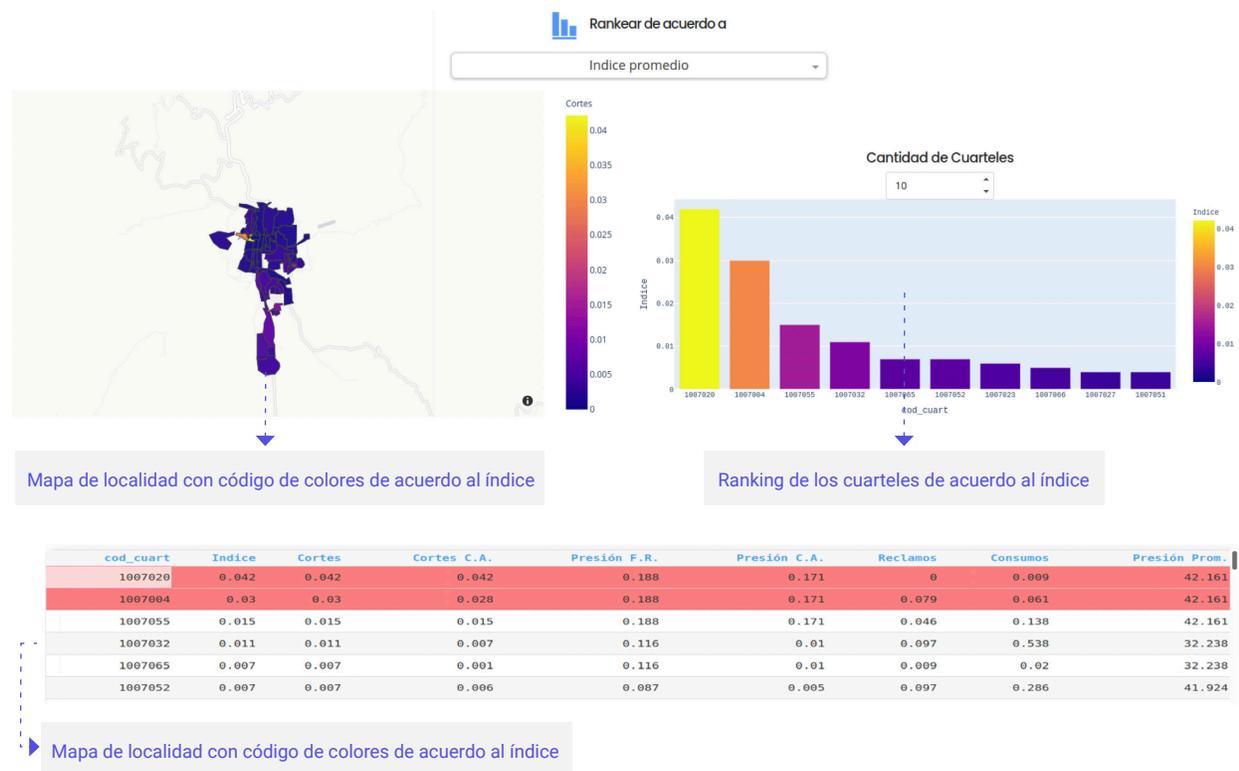


### 9.2.4. Submódulo de visualización de resultados

Finalmente, el submódulo de visualización presenta una serie de gráficos interactivos para poder analizar los resultados de los modelos de predicción. La Figura 29 presenta los gráficos utilizados para realizar un análisis general de la localidad. Entre ellos se encuentra un gráfico que muestra la distribución geográfica de los cuarteles, con un código

de colores dado por el índice seleccionado y un ranking de los cuarteles, ordenados por la prioridad sugerida de la fiscalización basada en el índice. Es importante mencionar que el usuario puede generar el ranking de acuerdo con el índice promedio o con la tendencia del índice (se proyecta un aumento o un decremento de este) para un período determinado.

Figura 29. Gráficos para el análisis global de la localidad.



Por otro lado, la Figura 30 muestra los gráficos utilizados para realizar un análisis particular de cada uno de los cuarteles, en los cuales se muestra la serie temporal del índice, tanto histórica como la predicha, para uno o más cuarteles, y también el histograma de los valores del índice.

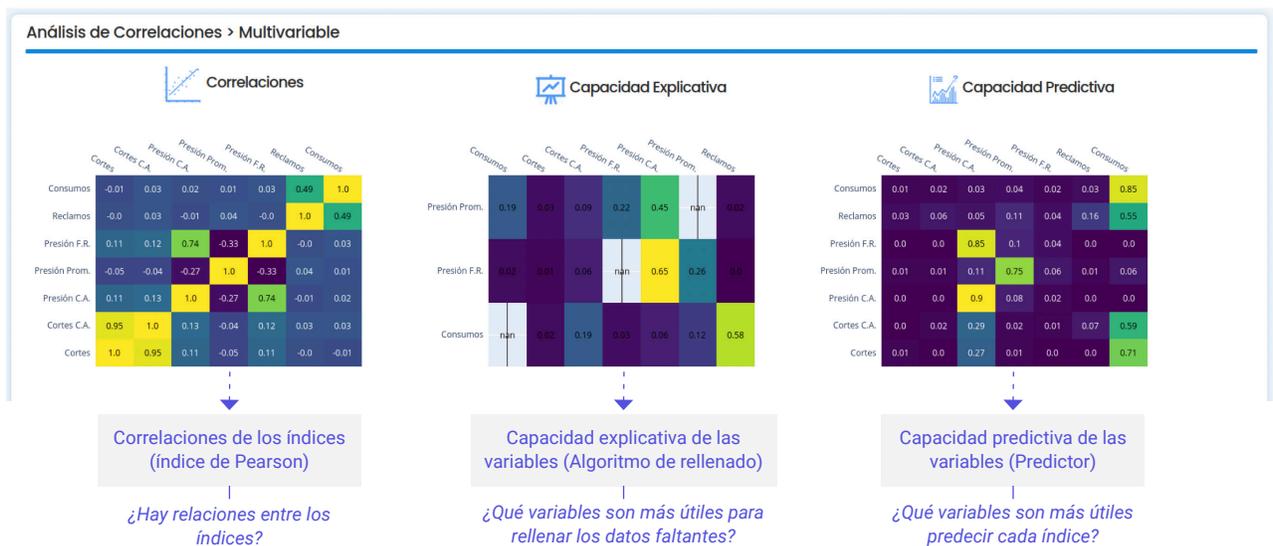
Figura 30. Gráficos para el análisis de uno o más cuarteles de manera particular.



Finalmente, la Figura 31 muestra los gráficos de correlación entre variables, basados en los valores históricos del índice, en el algoritmo de relleno de datos y en los modelos predictivos. Estos gráficos pretenden ser una herramienta para entender

mejor la relación entre las distintas variables y cómo un problema en una de ellas puede afectar a las demás. Esto puede ser útil para dar recomendaciones más informadas a las sanitarias en cuanto a la toma de medidas preventivas.

Figura 31. Gráficos de correlación basados en los valores históricos del índice, en el algoritmo de relleno de datos y en los modelos predictivos.

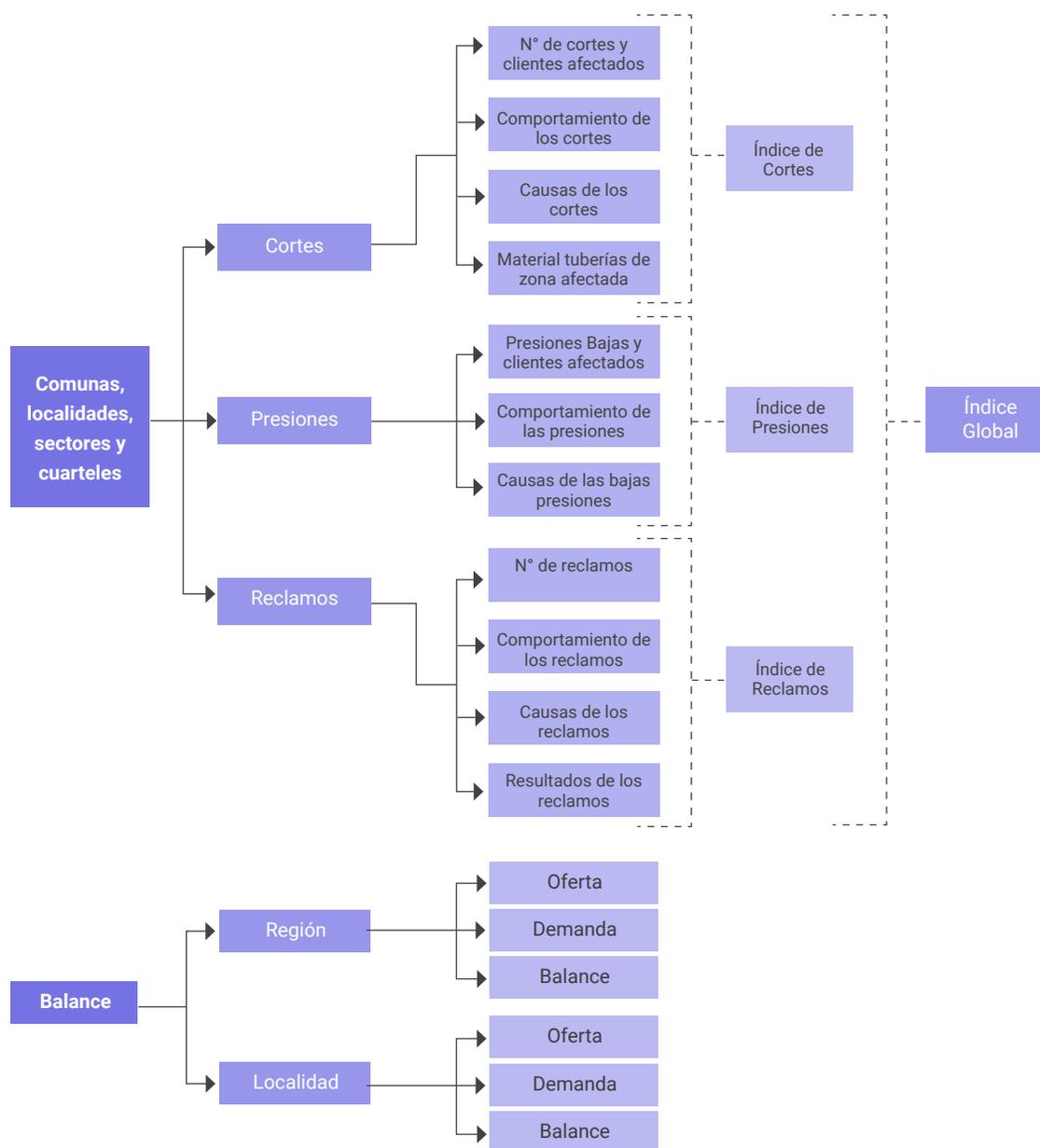


### 9.3. Módulo de Reportabilidad Automática (MRA)

La tercera herramienta del SSAT prototipo es el informe automático, que se envía por correo electrónico y se genera cada vez que hay una actualización de la base de datos con los protocolos mensuales entregados por las sanitarias a

la SISS. El informe automático resume los acontecimientos más importantes de los últimos meses. En la Figura 32 se presenta la organización de la información que suministra el reporte, el cual divide la información en cinco secciones: comunas, localidades, sectores, cuarteles y balance.

Figura 32. Organización de la información entregada por el informe automático generado por el SSAT para las comunas.



Las secciones de comunas, localidades, sectores y cuarteles, a su vez se dividen en subsecciones que abordan los cortes, las presiones, los reclamos y un índice global del servicio sanitario; esta información se presenta a través de tablas y

gráficos. En la Figura 33 se esquematiza, con la sección de comunas, la forma en que muestra el informe automático la información.

Figura 33. Ejemplo de tabla y gráficos que muestra el informe automático para la sección de comunas.

Tabla de cortes:

Comuna	C. Afectados	Cortes último mes	Cortes mes pasado	Cortes año pasado	Cortes promedio 6 meses
COQUIMBO	8335	110	79	34	56
ILLAPEL	5582	52	0	6	10
OVALLE	1153	26	12	150	19
VICUÑA	560	12	6	5	4
LOS VILOS	439	9	6	4	8
MONTE PATRIA	17	7	3	5	3
LA SERENA	1195	6	11	22	16
PAIGUANO	171	5	0	4	1
ANDACOLLO	231	4	10	10	20
COMBARBALA	61	4	0	2	4
PUNTAQUI	10	4	2	4	3
SALAMANCA	246	4	14	1	8
CANELA	2	1	0	2	0

Gráfico de cortes mensuales:

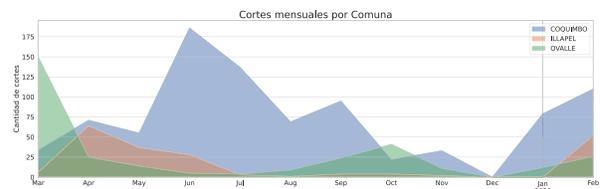


Gráfico de causas de cortes por comuna:

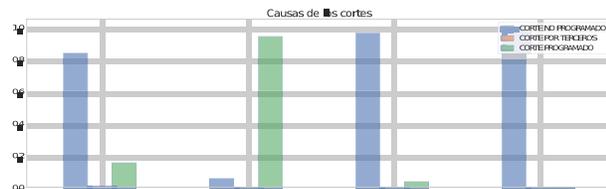
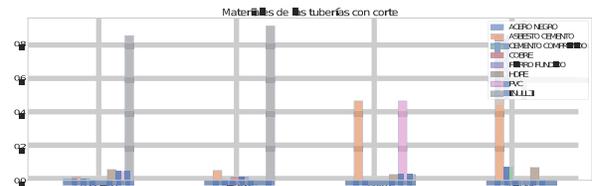
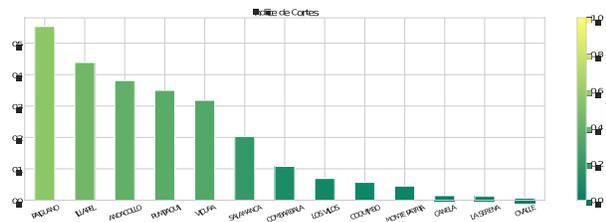


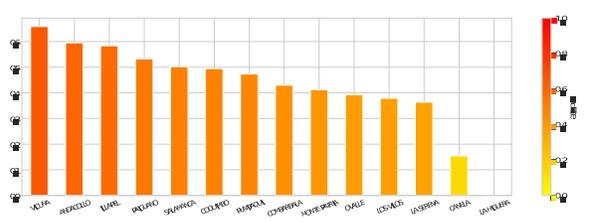
Gráfico de materiales de las tuberías en las comunas afectadas por cortes:



Índice de cortes:



Índice global comunal:



En cuanto a la sección de balance, esta se divide en las subsecciones de región y de localidad; en cada una de estas se entrega información de la oferta (m<sup>3</sup>), demanda (m<sup>3</sup>) y balance (m<sup>3</sup>) (ver Figura 34).

Figura 34. Ejemplo de la tabla y gráficos que suministra el informe automático para la sección de balance.

Tabla con la oferta, demanda y balance de la Región de Coquimbo:

Oferta [M3]	Demanda [M3]	Balance [M3]
4626209.0	3691567.0	934642.0
4761575.0	3755990.0	1005585.0
4529916.0	3286774.0	1243142.0
4517091.0	3174059.0	1343032.0
4139241.0	3042324.0	1096917.0
4338618.0	2901759.0	1436859.0
4405848.0	3006991.0	1398857.0

Gráfico de oferta/demanda de la Región de Coquimbo:

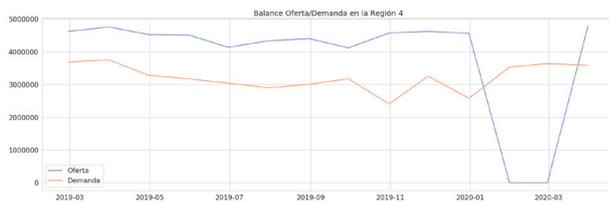
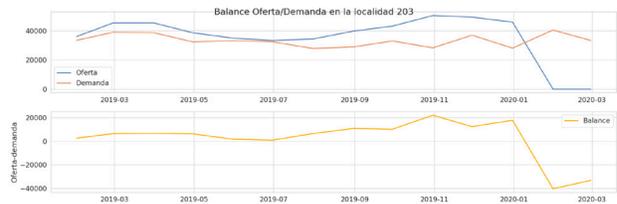


Gráfico de oferta/demanda en una localidad de la Región de Coquimbo:



#### 9.4. Conclusiones sobre prototipo del SSAT

Mediante las funcionalidades de despliegue y reportería de información, el SSAT permite a los usuarios identificar desviaciones en las condiciones normales de operación de la red de agua potable urbana, como presiones fuera de rango, cortes, obstrucciones, etc. De esta manera, el sistema optimiza el actual proceso manual de fiscalización, ya que reduce al mínimo el tiempo de análisis de los datos entregados por las sanitarias, permite a los equipos de fiscalización identificar tempranamente áreas susceptibles de contingencias —para así decidir acciones oportunas por parte de la SISS— y sirve de insumo para la confección de la planificación anual de actividades.

El SSAT es una propuesta revolucionaria a nivel organizacional de la SISS, novedosa a nivel nacional para el sector sanitario y con impacto potencial a nivel de organismos nacionales fiscalizadores similares, como son las Superintendencias de Salud, de Educación, de Electricidad y de Combustibles, entre otras. Cada uno de estos organismos del Estado tiene el potencial de utilizar este sistema de monitoreo inteligente, adaptándolo a los protocolos y lógicas de cada sistema fiscalizado, y como consecuencia optimizar el trabajo de sus equipos técnico-profesionales y realizar acciones que se traduzcan en una mejora de la calidad de vida de nuestra sociedad.

Es importante destacar que los equipos que componen este sistema tienen una vida útil aproximada de cinco años, pero se puede extender incorporando elementos que aumenten sus desempeños, mejorando la calidad del servicio del sistema informático. En el caso de necesitar mayor capacidad, por la incorporación de más información, el sistema se puede escalar de forma horizontal mediante la inclusión de nuevos equipos.

#### 10. ANÁLISIS DE BRECHAS EN EL SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE AGUA POTABLE URBANO CHILENO

En la parte II se resumió el estado actual del sistema de gestión y supervisión del agua potable urbano en Chile, los desafíos que enfrenta el sector en un contexto de cambio climático y el aumento de la demanda de agua asociada al desarrollo económico y crecimiento urbano. En los capítulos 8 y 9 se describen las características y funcionalidades del SSAT, y el prototipo del SSAT implementado en la Región de Coquimbo, respectivamente. Este conjunto de información sirve de base para identificar las principales brechas y desafíos pendientes, para contar con un SSAT exitoso a nivel nacional y avanzar a más largo plazo hacia un modelo de supervisión y fiscalización de los servicios de agua potable urbanos de alto estándar. Estas brechas se presentan resumidas en la Tabla 1 y se clasifican en cuatro tipos: brechas relativas a la gestión de riesgos asociados al cambio climático y territorial, brechas tecnológicas, organizacionales y regulatorias.

Tabla 1. Principales brechas y desafíos futuros en los sistemas de supervisión de agua potable urbanos.

Tipo de brecha	Brechas
<p>1. Gestión de riesgo climático y territorial</p>	<p>1.1. Se detectan diferencias en el nivel de planificación y gestión del riesgo entre las empresas sanitarias. Esto debido a la heterogeneidad de empresas en el sector, en términos del tamaño de las mismas.</p> <p>1.2. Diferencias entre las sanitarias en relación con la implementación de mecanismos de alertamiento temprano ante eventos naturales que pueden afectar el suministro de agua potable.</p> <p>1.3. Necesidad de construcción de estándares a nivel de sector sanitario, relacionados con metodologías y criterios de análisis de riesgos.</p> <p>1.4. Necesidad de fortalecer el trabajo a nivel sectorial en temas de gestión de riesgos o manejo de crisis entre las sanitarias. Si bien algunas sanitarias se coordinan entre sí, se debe a que pertenecen a un mismo grupo corporativo.</p> <p>Estas brechas implican, en primer lugar, que la implementación del SSAT deba realizarse siguiendo una priorización regional, pues hay zonas que se ven más afectadas que otras por el impacto combinado del cambio climático, desarrollo demográfico y urbano. Por lo tanto, ciertas regiones demandan con mayor urgencia la implementación de planes de fiscalización y supervisión basados en la evidencia.</p> <p>Por otro lado, estas brechas refuerzan la necesidad de que la SISS incentive a las sanitarias al trabajo conjunto para alcanzar un estándar común en cuanto a planes de gestión de riesgos y reducción de pérdidas de agua, en pro de mantener el servicio de agua potable continuo y de calidad.</p>
<p>2. Tecnológicas</p>	<p><b>En relación con la SISS:</b></p> <p>2.1. Necesidad de fortalecer el uso de herramientas automáticas para llevar a cabo procesos de validación y análisis de los datos enviados por las sanitarias a la SISS, a través de protocolos de información.</p> <p>2.2. Necesidad de una vía de recepción de los protocolos de información, ya que actualmente se utiliza la plataforma SINAR y el correo electrónico de la SISS.</p> <p>2.3. Los datos existentes actualmente no permiten una total trazabilidad del agua, ya que no se puede seguir el recorrido del agua desde la fuente (PR018002) hasta que llega a los clientes (PR014001).</p> <p>2.4. Necesidad de incorporar modelos predictivos automáticos, en base a los datos contenidos en los protocolos de información entregados por las sanitarias a la SISS.</p> <p>2.5. Realización de actas de fiscalización en papel, las cuales no permiten el análisis automático de la información. Asimismo, se necesita un gran espacio físico para su almacenamiento y es engorroso el buscar información en estas.</p> <p>2.6. Necesidad de incorporar herramientas o procedimientos automáticos para realizar cruces sistemáticos de los protocolos de información, por lo que actualmente solo pueden hacerse algunos cruces manuales.</p> <p><b>En términos generales, en las sanitarias:</b></p> <p>2.7. El envío de protocolos de información a la SISS no está automatizado por parte de las empresas sanitarias.</p> <p>2.8. Telemetría y telecontrol integral existen en forma limitada y solo en algunas etapas del proceso de producción de agua potable.</p>

<p>2. Tecnológicas</p>	<p><b>2.9.</b> Heterogeneidad en los sistemas de información y control de las empresas de servicios sanitarios. Mientras algunas cuentan con escasas o nulas herramientas informáticas, otras manejan simultáneamente muchos sistemas distintos, como, por ejemplo: Topkapi, Aquasis, Genesis, Power Center, SAP/ISU, SGL, etc. Esta heterogeneidad dificulta la eventual integración de sistemas.</p> <p><b>2.10.</b> El nivel de instrumentación y sensorización es distinto entre las sanitarias, puesto que algunas empresas cuentan con más tecnología y más avanzada que otras. En general, las operaciones más tecnologizadas son las de potabilización y las menos son las que están relacionadas con la recolección, tratamiento y disposición de aguas servidas.</p> <p><b>2.11.</b> Existen diferencias entre las sanitarias, respecto a la presencia de alarmas/alertas automáticas en caso de desviación del servicio.</p> <p><b>2.12.</b> Existen diferencias entre las sanitarias, respecto de la implementación de sistemas inteligentes de detección de fallas y/o de toma de decisiones, ya que algunas cuentan con pilotos de estos sistemas y otras aún no llegan a implementarlos.</p> <p><b>2.13.</b> Existen diferencias entre las sanitarias, respecto de la implementación del nivel de automatización de sus procesos; algunas tienen un mayor grado de automatización, en cambio, otras realizan sus procesos manuales de medición de parámetros y análisis de los datos.</p> <p>La reducida disponibilidad de capital humano en el área de fiscalización de la SISS, en tiempos actuales donde las demandas ciudadanas son cada vez más intensivas, hace necesaria la implementación de herramientas tecnológicas como el SSAT a nivel nacional, que ayuden a mejorar la eficacia y eficiencia de su labor.</p> <p>La falta de automatización en la entrega de datos por parte de las sanitarias, el análisis manual de los datos que llegan a la SISS y la ausencia de alarmas/alertas automáticas, conllevan a que a la Superintendencia le sea complejo actuar siempre de manera oportuna y rápida frente a discontinuidades en el servicio de agua potable.</p> <p>Por otra parte, las diferencias y deficiencias tecnológicas a nivel de empresas sanitarias plantean desafíos tanto para la implementación del SSAT a nivel nacional como para (si así se estimará en el futuro) la eventual instauración a largo plazo de sistemas avanzados de transferencia de datos entre SISS y ESS.</p>
<p>3. Organizacionales</p>	<p><b>En relación con la SISS:</b></p> <p><b>3.1.</b> Existencia de múltiples índices de medición de la calidad del servicio, que no dan cuenta del servicio sanitario a nivel global.</p> <p><b>3.2.</b> Fortalecer la planificación y realización de alianzas entre la SISS y los centros de investigación, las consultoras y/o las universidades, para avanzar en temas de investigación relacionados al sector sanitario. Esta brecha se da en la mayoría de los organismos públicos y privados chilenos.</p> <p><b>En términos generales, en las sanitarias:</b></p> <p><b>3.3.</b> Algunas actúan como corporativos y otras son entes individuales.</p> <p><b>3.4.</b> Cada empresa o corporativo tiene sus propios lineamientos u hoja de ruta, que consideran solo las variables de su territorio operacional.</p> <p><b>3.5.</b> Solo algunas sanitarias cuentan con una visión a corto, mediano y largo plazo, en relación con el mejoramiento del servicio.</p>

<p>3. Organizacionales</p>	<p><b>3.6.</b> Los referentes internacionales o servicios de asesorías que tienen las sanitarias son realizadas con diferentes países extranjeros, lo que hace que tengan distintas visiones y estrategias a futuro.</p> <p>La implementación de este sistema a nivel nacional implica necesariamente una modificación de los procesos de planificación, ejecución y seguimiento de las fiscalizaciones, que tendrá por lo tanto un impacto en la labor de los equipos de las divisiones centrales y oficinas regionales de la SISS.</p> <p>Por otra parte, para enfrentar los desafíos futuros, debe existir una visión y estrategia en común en el sector y una colaboración activa con centros de investigación, universidades, consultoras y expertos, para desarrollar nuevas tecnologías y modelos predictivos de fallas y demandas, entre otros. La SISS es llamada a impulsar y liderar este proceso, mediante la generación de incentivos y un marco regulatorio que propicie la colaboración, innovación y modernización.</p>
<p>4. Regulatorias</p>	<p><b>4.1.</b> Subutilización de los protocolos de información, dado que no existen las capacidades de validar, procesar, analizar y cruzar la gran cantidad de información.</p> <p><b>4.2.</b> Desfase temporal entre la generación de los datos y la recepción de los protocolos de información.</p> <p><b>4.3.</b> Desfase temporal (un mes aproximadamente) entre la recepción de los protocolos y el análisis de estos por parte de la SISS.</p> <p><b>4.4.</b> Falta de validación por parte de la SISS de la calidad y robustez de los datos entregados por las empresas sanitarias.</p> <p><b>4.5.</b> Los datos que se encuentran en los protocolos de información no cumplen con todos los requisitos técnicos para tener modelos predictivos de alta calidad.</p> <p><b>4.6.</b> Escasos incentivos para que las sanitarias aumenten el nivel de sensorización y tecnologización de la red de agua potable.</p> <p><b>4.7.</b> Baja inversión en tecnología asociada a las etapas de recolección, tratamiento y disposición de las aguas servidas en comparación al agua potable (20% versus 70% respectivamente del total presupuestado para el año 2019) (SISS, 2020d).</p> <p>La baja frecuencia en la entrega de protocolos, la gran cantidad de protocolos, los plazos en el envío, la validación y el análisis de los datos producen que la SISS no pueda visualizar y actuar rápidamente en caso de encontrar desviaciones en el servicio y que sus fiscalizaciones no tiendan a la prevención, teniendo más un carácter reactivo. Asimismo, la baja frecuencia y disímil calidad en algunos protocolos le quita robustez al análisis de los datos.</p> <p>Por otra parte, se debe incentivar a las sanitarias a avanzar en el nivel de sensorización del proceso de potabilización y distribución del agua potable, y en el saneamiento de aguas servidas.</p>

## 11. PRIORIDADES ESTRATÉGICAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN

Las brechas identificadas en cuanto a gestión de riesgos asociados al impacto del cambio climático sobre el suministro de agua potable, las tecnologías y procesos instaurados actualmente para la gestión y supervisión del agua potable, y las condiciones institucionales y regulatorias del sector sanitario, permiten estructurar un conjunto de acciones a plazos de cinco y diez años para lograr un SSAT operativo y funcional para todo Chile. Estas incluyen una priorización territorial para la implementación del SSAT, el desarrollo de nuevas funcionalidades en esta herramienta y otros cambios e innovaciones necesarios para la modernización del sistema de supervisión del suministro de agua potable urbano chileno. Adicionalmente, analizan los beneficios esperados en relación con la cantidad de reclamos, cortes no programados y sanciones.

### 11.1. Expansión territorial del SSAT

Para determinar la priorización en la implementación a nivel nacional del SSAT, se realizó un análisis de riesgo (detallado en el Anexo B), que tomó en consideración los efectos del cambio climático, el desarrollo urbano y el desarrollo económico a nivel de cada región, ya que la SISS está dividida de esta forma. La

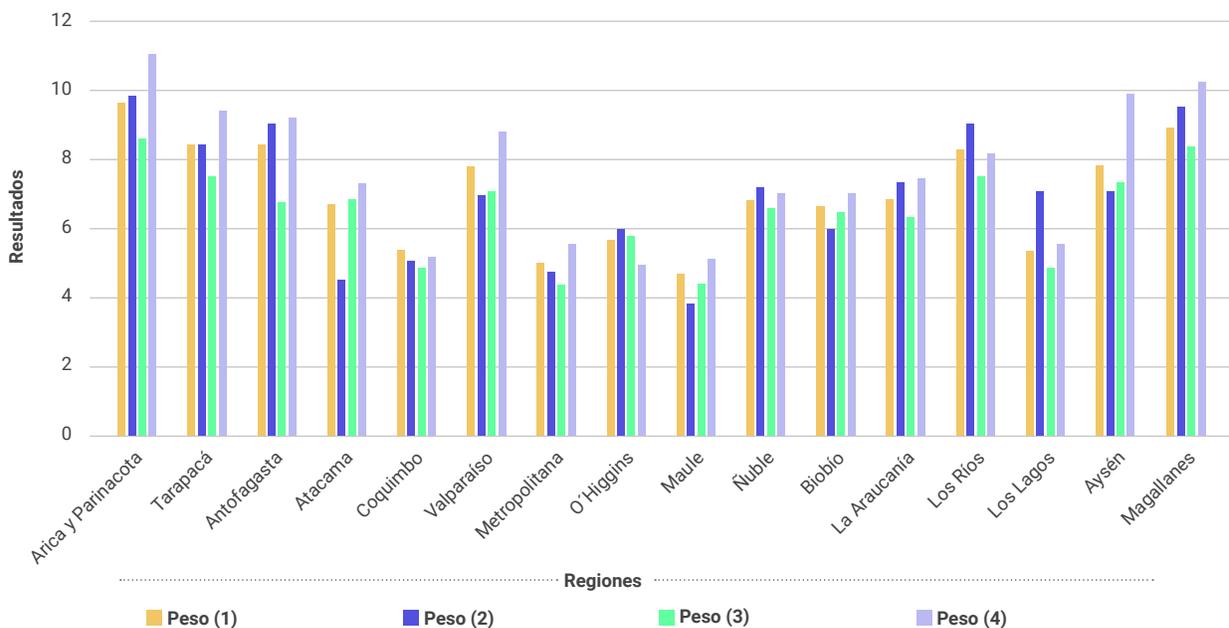
metodología aplicada considera distintos criterios para evaluar los efectos de las amenazas consideradas. Por ejemplo, en el caso del cambio climático, un efecto es el derretimiento de las masas de hielo y los criterios considerados para caracterizar dicho efecto son “área de los glaciares” y “variación del área de los glaciares”. En la Figura 35 se muestran los resultados que arrojó el análisis de riesgo y un posterior estudio de sensibilidad (para más detalles, ver el Anexo B).

En el eje X de la Figura 28 se indican las regiones y en el eje Y se señala el resultado del análisis; el valor más bajo indica una mayor prioridad de la región para implementar el sistema. La leyenda alude a los distintos pesos que se les han dado a los criterios evaluados. Se recomienda la utilización del “peso 2” basado en el proceso de análisis jerárquico (véase el Anexo B para más detalles).

Según este análisis, el orden de implementación recomendado sería: **1) Maule, 2) Atacama, 3) Metropolitana, 4) Valparaíso, 5) O’Higgins, 6) Biobío, 7) Ñuble, 8) Los Lagos, 9) La Araucanía, 10) Aysén, 11) Tarapacá, 12) Los Ríos, 13) Antofagasta, 14) Magallanes y 15) Arica y Parinacota.** La Región de Coquimbo queda fuera, ya que en esta se llevó a cabo el prototipo, pero resultó cuarta en el estudio.

Es importante destacar que, a pesar de considerar diferentes pesos a los criterios, los resultados son muy similares y las regiones de Maule, Metropolitana, Coquimbo y Valparaíso, siempre están entre los primeros lugares.

Figura 35. Resultados del análisis de riesgo y posterior estudio de sensibilidad para priorizar territorialmente la implementación del SSAT.



## 11.2. Cambios o innovaciones

Para avanzar hacia un sistema de supervisión de servicios sanitarios en línea con los estándares internacionales, se plantean cambios o innovaciones de carácter tecnológico, organizacional y regulatorio. Estos cambios tienen que ver con la incorporación de nuevas funcionalidades al actual SSAT, ya sea por medio de la incorporación de nuevos protocolos o de campos adicionales de información en protocolos ya integrados en el sistema, y la generación de alarmas. Asimismo, se abordan modificaciones en la frecuencia de entrega de los protocolos y la revisión de todos sus campos, para agregar información relevante o eliminar información que ya no es utilizada. En relación a estos protocolos, también se plantean la recepción por una sola vía, a través del SINAR, ya que esta herramienta recibe y valida la información. De igual modo, es importante llegar a la conexión en línea entre las sanitarias y la SISS para la adquisición directa de protocolos, pues así el desfase de tiempo entre generación y análisis de los datos se reduciría notablemente.

Sumado a lo anterior se propone complementar con instancias de fiscalización automática por parte de la SISS, mediante la instalación de sensores en puntos críticos del proceso de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, para llegar a

un sistema sanitario al nivel de los referentes internacionales, se hace imprescindible que las empresas sanitarias avancen en el nivel de sensorización, en todo el proceso de abastecimiento de agua potable y saneamiento de aguas servidas.

En relación con la labor de fiscalización de la SISS, es importante modernizarla, dejando atrás las actas en papel y utilizar elementos computacionales en las fiscalizaciones, que ingresen la información de forma instantánea.

Finalmente, es importante dar mayor protagonismo a los usuarios de agua potable, clientes de las sanitarias, para así aumentar su confianza y satisfacción con el servicio. Por esto se plantea la creación de una herramienta amigable e interactiva, que informe a la ciudadanía del estado actual de los servicios sanitarios, en base a la información que maneja el SSAT.

Con todo, las propuestas de desarrollo detalladas a continuación son expresadas a modo referencial y por tanto no pretenden ser más que una propuesta base para los análisis futuros que realice la Superintendencia de Servicios Sanitarios en estas materias. En la Tabla 2 se indican los distintos cambios recomendados, para diferentes horizontes temporales, de cinco y diez años.

Tabla 2. Propuestas de cambios e innovaciones tecnológicas, organizacionales y regulatorias.

Tipo	Cambio o innovaciones
<p>1. Innovaciones tecnológicas</p>	<p><b>A cinco años:</b></p>
	<p>1.1. Escalamiento a nivel nacional del SSAT (con los protocolos PR013001, PR019001, PR012001 y PR035001) del prototipo implementado en la Región de Coquimbo, siguiendo la priorización territorial indicada en el capítulo 11.1.</p>
	<p>1.2. Incorporación de nuevos protocolos de información al prototipo del SSAT:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe de continuidad servicio agua servidas del PR013001.</li> <li>• PR018001: Captaciones de agua potable.</li> <li>• PR014001: Calidad del agua potable.</li> <li>• PR018002: Calidad del agua cruda.</li> </ul>
	<p>1.3. Generación de alertas/alarmas asociadas a la incorporación de los protocolos PR018001, PR014001 y PR018002 al prototipo del SSAT.</p>
	<p>1.4. Incorporación automática (conexión en línea) de los protocolos PR013001 y PR019001 al prototipo del SSAT.</p>
<p>1.5. Escalamiento del prototipo a nivel nacional.</p>	

1. Innovaciones tecnológicas

**1.6.** Incorporación de los protocolos PR018001, PR014001 y PR018002, el "informe de continuidad servicio agua servidas", del protocolo PR013001, a un SSAT nivel nacional.

**1.7.** Recepción y validación de los protocolos por medio de una única vía, por parte de la SISS; esto a través del SINAR.

**1.8.** Incorporación automática (conexión en línea) de los protocolos PR018001, PR014001, PR018002, PR013001 y PR019001 al SSAT.

**1.9.** Incorporación de un sistema de telemetría en puntos críticos, para apoyar la labor fiscalizadora de la SISS, haciendo que esta sea más automática. Los objetivos son la recolección de datos de las variables relevantes y la visualización en tiempo real de estos, a través de un software tipo SCADA.

**A diez años:**

**1.10.** Conexión entre los sistemas RIF (Registro Integrado de Fiscalización) y SSAT.

**1.11.** Cambio desde el acta en papel a la utilización de registros digitales, para que las fiscalizaciones queden automáticamente ingresadas a las plataformas de la SISS: RIF y SSAT.

**1.12.** Incorporación de la siguiente información de los protocolos al SSAT:

- PR033001. Balance oferta demanda (BOD): Se sugiere incluir el "total oferta fuentes" y la "demanda máxima diaria" del cuadro 4.4 de la "Guía de planes de desarrollo"; también la "población" y "Q<sub>máx.día</sub>", del cuadro 4.18; y "demanda Q<sub>máx</sub>" del cuadro 4.20.
- PR023001. Control de plantas de tratamiento de A.S: Primero se puede considerar la información de "manejo reclamos" y "olores", luego los que tienen relación con "autocontrol", "variables operacionales" y "lodos".
- PR036001. Estado de grifos: Se sugiere incluir el "parque de grifos", con información del catastro y estado de grifos, la "inspección de grifos, con información de las inspecciones realizadas por las empresas sanitarias al parque de grifos", y el "estado anual de grifos", que contiene información de las reparaciones y mantenencias realizadas a los grifos.
- PR031001. Morosidad de deuda: Referente a la información de monto de la deuda, cantidad de clientes morosos y antigüedad de la deuda por localidad.
- PR017000. PROCOF: Este protocolo contiene a su vez once subprotocolos. Al SSAT se puede incluir información del 17001 referente a la "identificación de actividades económicas que descargan al alcantarillado"; del 17002, los "puntos de descarga de actividades económicas"; del 17005, los "resultados de análisis", y del 17008, los de "denuncias".
- PR042001. Mantenimiento preventivo de redes de alcantarillado: Incluir este protocolo para cruzarlo con el PR013001, específicamente con el informe de continuidad del servicio de aguas servidas.

**1.13.** Generación de indicadores y criterios de alertas/alarmas, en relación con los protocolos PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001, incorporados al SSAT.

**1.14.** Establecimiento de una conexión en línea con las sanitarias para recepción automática por parte de la SISS de los protocolos PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001.

**1.15.** Desarrollo de una herramienta amigable e interactiva para la ciudadanía, que informe sobre la calidad de los servicios sanitarios, como: cortes, reclamos, ANC, calidad del agua potable, etc., en base a la información que maneja el SSAT.

2. Cambios organizacionales

<b>A cinco años:</b>
<p>2.1. Contratación y capacitación de una persona por parte de la SISS-Central para apoyar en la implementación del SSAT, mantención de la herramienta y para desarrollar nuevas funcionalidades al SSAT, como, por ejemplo, el ingreso de nuevos protocolos de información.</p> <p>2.2. Realización de dos capacitaciones para la implementación del SSAT a nivel nacional, separadas por SISS-regionales y según el orden que se indica en el capítulo 11.1.</p> <p>2.3. Realización de tres capacitaciones para solucionar dudas generales, pero con los funcionarios de la SISS separados por zona: norte, centro y sur, vía online.</p> <p>2.4. Mantención de canales de comunicación electrónica para el registro y solución de dudas relativas al uso del SSAT.</p> <p>2.6. Incorporación del SSAT en la programación de actividades de la SISS de cada año.</p> <p>2.7. Revisión de los protocolos: PR013001, PR019001, PR018001, PR014001 y PR018002, de acuerdo con la información utilizada por el SSAT, a modo de eliminar o agregar información.</p> <p>2.8. Capacitaciones a funcionarios de la SISS y de las sanitarias por la revisión de los protocolos PR013001, PR019001, PR018001, PR014001 y PR018002.</p> <p>2.9. Cambio en la frecuencia de envío de los protocolos PR018001, PR018002, PR31001 y PR042001. Se sugiere el envío mensual para realizar un análisis de los datos, más robusto que el actual.</p> <p>2.10. Realización de un Plan de Gestión de Riesgos común para todas las sanitarias, liderado por la SISS. En este se deben incluir planes a corto, mediano y largo plazo, considerar diferentes escenarios de riesgos y consensuar metodologías y criterios de análisis comunes. Esto se relaciona con la acción 1.2.2 del Plan Estratégico Nacional de la SISS, donde se indica sobre la necesidad de generar información estándar relacionada a la Gestión Integral del Riesgo de Desastres.</p> <p>2.11. Incorporación de sistemas de alerta temprana en las sanitarias.</p> <p>2.12. Establecimiento de lineamientos comunes entre las sanitarias, tendientes a reducir las pérdidas de agua en la red de distribución, los cuales deben ser liderados por la SISS.</p> <p>2.13. Confección de un Plan Nacional para gestionar el recurso hídrico, por parte de todos los organismos involucrados en el recurso hídrico, que aborde las diferencias climáticas y territoriales, y los desarrollos demográfico, urbano y económico; y que esté en sintonía con la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025 (MOP, 2012).</p> <p>2.14. Establecimiento de alianzas entre la SISS y consultoras, universidades o centros de investigación, para fortalecer los estudios en temas de sensorización, gestión del agua, riesgos, modelos predictivos, etc.</p>
<b>A diez años:</b>
<p>2.15. Realización de dos capacitaciones por región a los funcionarios de la SISS, por la conexión entre el RIF y el SSAT.</p> <p>2.16. Realización de dos capacitaciones por región a los funcionarios de la SISS, por el cambio del acta en papel a la utilización de registros digitales.</p>

<p><b>2. Cambios organizacionales</b></p>	<p><b>2.17.</b> Revisión de los protocolos: PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001, de acuerdo con la información utilizada por el SSAT, para así eliminar o agregar campos de información a estos protocolos.</p> <p><b>2.18.</b> Realización de dos capacitaciones por regional a los funcionarios de la SISS, debido a la incorporación de los protocolos: PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001.</p> <p><b>2.19.</b> Realización de dos capacitaciones a las sanitarias, pero separadas por regiones, esto por la incorporación de los protocolos: PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001.</p> <p><b>2.20.</b> Cambio en la frecuencia de envío de los protocolos PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001. Se sugiere el envío mensual para realizar un análisis de los datos, más robusto que el actual.</p> <p><b>2.21.</b> Realización de una capacitación por regional a los funcionarios de la SISS, debido a la recepción automática de los protocolos.</p> <p><b>2.22</b> Realización de una capacitación por región a las sanitarias, debido a la recepción automática de los protocolos.</p> <p><b>2.23.</b> Difusión de la herramienta interactiva que informa a la ciudadanía sobre la calidad de los servicios sanitarios, para que la conozcan y la utilicen.</p> <p><b>2.24.</b> Realización de más alianzas entre las SISS y consultoras, universidades o centros de investigación, para fortalecer la investigación en temas de sensorización, gestión del agua, riesgos, ANC, modelos predictivos, entre otros temas.</p>
<p><b>3. Aspectos regulatorios</b></p>	<p><b>A cinco años:</b></p> <p><b>3.1.</b> Solicitud a las sanitarias, por medio de ordenanzas, de la automatización en el envío de los protocolos PR013001 y PR019001, pero solo para el prototipo en la Región de Coquimbo (conexión en línea).</p> <p><b>3.2.</b> Solicitud a las sanitarias del envío de todos los protocolos a través de la plataforma SINAR, de la SISS.</p> <p><b>3.3.</b> Solicitud a las sanitarias de la automatización en el envío de los protocolos PR013001, PR019001, PR018001, PR014001 y PR018002, a nivel nacional (conexión en línea).</p> <p><b>3.4.</b> Solicitud a las sanitarias de la eliminación o incorporación de campos de información en los protocolos: PR013001, PR019001, PR018001, PR014001 y PR014001, de acuerdo con la información utilizada por el SSAT (según el punto 2.7 de los cambios organizacionales).</p> <p><b>3.5.</b> Solicitud del cambio de frecuencia en el envío de los protocolos PR018001, PR018002, PR31001 y PR042001 (según lo indicado en el punto 2.9 de los cambios organizacionales).</p> <p><b>3.6.</b> Evaluar el impacto de nuevos requerimientos hacia las sanitarias en los planes de desarrollo y en el modelo de tarifas.</p> <p><b>3.7.</b> Impulsar la modernización tecnológica de las sanitarias, a través de los planes de desarrollo en vías de sensorizar desde la captación del agua cruda hasta el saneamiento de las aguas servidas.</p>

<b>3. Aspectos regulatorios</b>	<b>A diez años:</b>
	<b>3.8.</b> Solicitud a las sanitarias de la automatización en el envío de los protocolos PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001.
	<b>3.9.</b> Solicitud a las sanitarias de la eliminación o incorporación de campos de información en los protocolos: PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001, de acuerdo con la información utilizada por el SSAT (según el punto 2.17 de los cambios organizacionales).
	<b>3.10.</b> Cambio en la frecuencia de envío de los protocolos PR033001, PR023001, PR036001, PR031001 y PR17001, según lo que se indica en el punto 2.20 de los cambios organizacionales.
	<b>3.11.</b> Impulsar la modernización tecnológica de las sanitarias, a través de los planes de desarrollo, en vías de sensorizar desde la captación del agua cruda hasta el saneamiento de las aguas servidas.

### 11.3. Beneficios esperados

La implementación del SSAT a nivel nacional y el ejecutar los cambios recomendados en el presente documento (capítulo 11.2) conllevan diferentes beneficios, tanto para la SISS como para las empresas sanitarias y los clientes de estas empresas.

El SSAT analiza de forma automática los protocolos de información que son entregados por las empresas sanitarias a la Superintendencia, según normativa, indicando las situaciones anómalas, lo que contribuye a mejorar la eficiencia y la eficacia en fiscalización de la SISS. Asimismo, mejora la certidumbre y robustez del análisis de los datos y apoya la fiscalización de la Superintendencia.

Como el sistema tiende hacia una fiscalización más oportuna, entonces las situaciones anómalas se reducirán, lo que disminuirá los cortes no programados, el número de reclamos de los clientes y las sanciones hacia las empresas sanitarias. Además, en caso de llegar a un proceso sancionatorio, este tendrá un respaldo más analítico y robusto.

La información que proporciona el SSAT puede ser utilizada como insumo para planificar la labor diaria y la planificación anual de actividades, orientando las fiscalizaciones hacia las zonas más vulnerables y a parámetros más críticos de los servicios sanitarios, mejorando el proceso de fiscalización de la SISS. Por otra parte, disminuye los tiempos que los funcionarios de la Superintendencia destinan hacer los análisis y amplía el campo de estudio de la información, pudiendo ingresar más datos al sistema, según las necesidades de la SISS; esto hace más eficiente su labor.

En general, el trabajo de los funcionarios de la SISS (como el de las empresas sanitarias) se verá optimizado, ya que, de existir conexión en línea entre estas dos entidades, en cuanto al envío automático de los protocolos de información, se ahorrarían tiempo en la confección y envío de los protocolos desde las empresas hasta la SISS; tiempo que puede ser destinado al trabajo y solución de otras problemáticas. Todo lo anterior mejorará la calidad de los servicios sanitarios y, por ende, aumentará en términos porcentuales la satisfacción neta, medida por la SISS. Igualmente, mejorará la visibilidad de esta entidad en la sociedad, entregando cercanía, transparencia y seguridad. Esta mejora en la calidad de los servicios sanitarios no solo beneficia a la SISS, sino que a las empresas sanitarias y a sus clientes.

Respecto a los beneficios que pueden ser cuantificados, estos se relacionan con los reclamos, los cortes no programados y las sanciones, como se detalla a continuación:

#### Relacionados a los reclamos

Como se indicó anteriormente, el SSAT contribuirá a mejorar la calidad del servicio de agua potable y, en consecuencia, a mejorar la percepción de los clientes, que se traduciría en un aumento de la satisfacción neta (%) y en una disminución en el número de reclamos.

Actualmente existen dos modalidades para que los clientes puedan realizar sus reclamos. En primera instancia, el cliente debe realizar la queja en la empresa sanitaria que le presta el servicio; de no haber solución o de existir una inconformidad en la respuesta, el cliente puede recurrir a la SISS. Una revisión del período 2012-2019 muestra que la tendencia de reclamos a las sanitarias se ha mantenido; como referencia, en el año 2019 las empresas recibieron un total de 567.911

reclamos. De estos, la mayoría se asocian a problemas de arranques (34-40% entre 2012 y 2019), seguidos por consumos excesivos (12-15%) y otros motivos menos frecuentes (<10%), como lecturas incorrectas, medidores defectuosos, problemas por bajas presiones, mala atención, agua en la vía pública, trabajos en la vía pública, etc.

En cuanto a los reclamos recibidos por la SISS, estos han aumentado desde el año 2012, llegando a 15.288 en 2019. Estos reclamos se clasifican en: calidad de la atención de las sanitarias, calidad del agua, calidad del servicio, por cobros y por consumos. En términos generales, el mayor número de reclamos es sobre la calidad del servicio, ya que entre 2012 y 2019 el porcentaje en este ítem estuvo entre un 20% y 40%, y ha aumentado en el tiempo. Otro de los reclamos más recurrentes es por consumo, que está entre un 37% y un 46% del total.

Dado que el SSAT es un sistema preventivo que permitirá contrastar protocolos de información y adelantar algunas anomalías en el servicio, como presiones fuera de rango y obstrucciones, entre otras, resultará, en consecuencia, en una mejora del servicio, por lo que el número de reclamos canalizados por las sanitarias y por la SISS, también debería disminuir. La disminución de estos reclamos reduce el capital humano requerido a atenderlos y solucionarlos, tanto en las oficinas como en terreno, por lo que se puede producir un ahorro monetario y en redirigir personal a otras labores en pro de mejorar los servicios sanitarios.

#### **Relacionados a los cortes no programados**

El número total de eventos de cortes de agua potable durante el año 2019 fue de 11.426; este valor disminuyó fuertemente en 2016, pero se ha mantenido más o menos estable hasta la actualidad.

Es importante destacar que, del total de cortes, 7.220 corresponden a cortes no programados, lo que equivale a más del 60% del total de cortes, que es un porcentaje similar a los años anteriores. La mayoría de estos cortes se deben a roturas de matrices de agua potable y las multas aplicadas por estos eventos ascendieron a 3.297 UTA durante el año 2019, equivalentes a aproximadamente \$1.913.000.000. Este valor aumentó en 2013, y desde esa fecha ha permanecido entre los 2.100 a 3.500 UTA.

El contar con el Sistema de Supervisión y de Alerta Temprana puede ayudar a disminuir este tipo de episodio, ya que esta herramienta tiene un carácter preventivo, lo que evitaría llegar a este tipo de situaciones, mejorando el servicio a los clientes.

#### **Relacionados a las sanciones**

El número total de sanciones y el valor total de estas ha aumentado en función del tiempo; como referencia, durante el año 2019 se contabilizaron 156 sanciones, lo que resultó en 10.941 UTA, equivalentes a aproximadamente \$6.350.000.000. Del total de sanciones, 130 (83%) estuvieron relacionadas a la calidad del servicio. Esta proporción se ha mantenido entre un 74-89% desde 2012, seguida por sanciones relacionadas a diferentes incumplimientos: de instrucciones (7-19%), de inversión en los planes de desarrollo (1-9%), de tipo comercial (0-6%) y sobre las licitaciones (0-2%).

Al contar con un SSAT a nivel nacional, la SISS podrá identificar de manera más rápida situaciones que impliquen incumplimiento normativo por parte de las empresas de servicios sanitarios, en especial las que se relacionan con calidad del servicio, que corresponden a la mayoría. Además, el SSAT proveerá respaldos robustos para la aplicación de sanciones, generados a partir del análisis de protocolos de información, por lo que contribuirá en definitiva a una reducción del número de sanciones, pero también a una tramitación más eficiente de las mismas.

### **11.4. Presupuesto para la implementación del SSAT**

El presupuesto para implementar el SSAT a nivel nacional, junto a otras funcionalidades indicadas en el capítulo 11.2 sobre cambios e innovaciones, se divide en dos horizontes temporales, al igual que en dicho capítulo: a cinco años y a diez años.

#### **11.4.1. Presupuesto a cinco años**

En la Tabla 3 se indica el presupuesto a utilizar dentro de los primeros cinco años; se han dividido en tres ítems: equipo, personal y capacitaciones.

#### **11.4.2. Presupuesto a diez años**

En la Tabla 4 se señala el presupuesto estimado a utilizar en un horizonte temporal de diez años, dividido nuevamente en tres ítems: equipo, personal y capacitaciones.

Tabla 3. Presupuesto para un horizonte temporal de cinco años.

1. Equipos*:					
Nº	Ítem	Descripción	Monto unitario (\$)	Cant.	Total (\$)
1.1	Servidor en rack	Capacidades mínimas: 2x Intel® Xeon® Gold, 128GB RDIMM, RAM, 2x 960GB SSD	24.000.000	2	48.000.000
1.2	Servidor en rack	Capacidades mínimas: Intel® Xeon® Gold, 128GB RDIMM, RAM, 2x 800GB SSD	7.500.000	1	7.500.000
1.3	Servidor en rack	Capacidades mínimas: Intel® Xeon® Gold, 128GB RDIMM, 2x 800GB SSD	9.000.000	1	9.000.000
1.4	Monitor 55"	Monitor para visualización del sistema, monitor touch interactivo	2.400.000	1	2.400.000
1.5	Switch		6.200.000	1	6.200.000
2. Personal:					
Nº	Ítem	Descripción	Monto unitario (\$)	Cant.	Total (\$)
2.1	Ingeniero mantenedor y desarrollador	Apoyo en la implementación y mantención del SSAT	2.272.600	60	136.356.000
3. Capacitaciones:					
Nº	Ítem	Descripción	Monto unitario (\$)	Cant.	Total (\$)
3.1	Capacitaciones a funcionarios de la SISS para implementar el SSAT a nivel nacional	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días en cada región, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	28	11.200.000
3.2	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por incorporación de nuevos protocolos al SSAT	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en cada región, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	14	5.600.000
3.3	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por envío de todos los protocolos por SINAR	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	28	11.200.000
3.4	Capacitaciones a empresas sanitarias por envío de todos los protocolos por SINAR	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	28	11.200.000
3.5	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por recepción en línea de protocolos	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en cada región, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	14	5.600.000
3.6	Capacitaciones a empresas sanitarias por recepción en línea de protocolos	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en cada región, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	14	5.600.000
3.7	Capacitaciones a empresas sanitarias por cambios en los protocolos PR013001, PR019001, PR018001, PR014001 y PR018002	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en cada región, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	14	5.600.000
3.8	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por cambios en los protocolos PR013001, PR019001, PR018001, PR014001 y PR018002	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en cada región, en catorce regiones, excepto Coquimbo y Santiago	400.000	14	5.600.000
<b>TOTAL:</b>					<b>271.056.000</b>

\* Valores referenciales de equipos, según año 2020.

Tabla 4. Presupuesto para un horizonte temporal de diez años.

1. Equipos*:					
Nº	Ítem	Descripción	Monto unitario (\$)	Cant.	Total (\$)
1.1	Servidor en rack	Capacidades mínimas: 2x Intel® Xeon® Gold, 128GB RDIMM, RAM, 2x 960GB SSD	24.000.000	2	48.000.000
1.2	Servidor en rack	Capacidades mínimas: Intel® Xeon® Gold, 128GB RDIMM, RAM, 2x 800GB SSD	7.500.000	1	7.500.000
1.3	Servidor en rack	Capacidades mínimas: Intel® Xeon® Gold, 128GB RDIMM, 2x 800GB SSD	9.000.000	1	9.000.000
1.4	Monitor 55"	Monitor para visualización del sistema, monitor touch interactivo	2.400.000	1	2.400.000
1.5	Switch		6.200.000	1	6.200.000
1.6	Tablet industrial	Certificado IP68	500.000	50	25.000.000
2. Personal:					
Nº	Ítem	Descripción	Monto unitario (\$)	Cant.	Total (\$)
2.1	Ingeniero mantenedor y desarrollador	Apoyo en la implementación y mantención del SSAT	2.272.600	60	136.356.000
3. Capacitaciones:					
Nº	Ítem	Descripción	Monto unitario (\$)	Cant.	Total (\$)
2.1	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por la conexión entre el RIF y el SSAT	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días en cada región, en quince regiones, excepto Santiago	400.000	30	12.000.000
2.2	Capacitar a funcionarios de la SISS debido a la utilización de registros digitales, en vez del acta en papel	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días en quince regiones, excepto Santiago	400.000	30	12.000.000
2.3	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por la incorporación de los protocolos: PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042001	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días en quince regiones, excepto Santiago	400.000	30	12.000.000
2.4	Capacitaciones a empresas sanitarias por la incorporación de los protocolos: PR033001, PR023001, PR036001, PR031001, PR17000 y PR042002	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por dos días en catorce regiones, excepto Santiago	400.000	30	12.000.000
2.5	Capacitaciones a funcionarios de la SISS por recepción automática de los protocolos	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en quince regiones, excepto Santiago	400.000	15	6.000.000
2.6	Capacitaciones a empresas sanitarias por recepción automática de los protocolos	Incluye pasaje aéreo al lugar de implementación, estadía, fungibles y transportes internos para una persona, por un día en quince regiones, excepto Santiago	400.000	15	6.000.000
2.7	Difusión de herramienta interactiva a la ciudadanía	Difusión de la plataforma a la ciudadanía, para que conozcan y utilicen la herramienta (fiscalización ciudadana); difusión en la página web, folletos explicativos, video, etc.	10.000.000	1	10.000.000
<b>TOTAL:</b>					<b>304.456.000</b>

\* Valores de equipos, según año 2020.

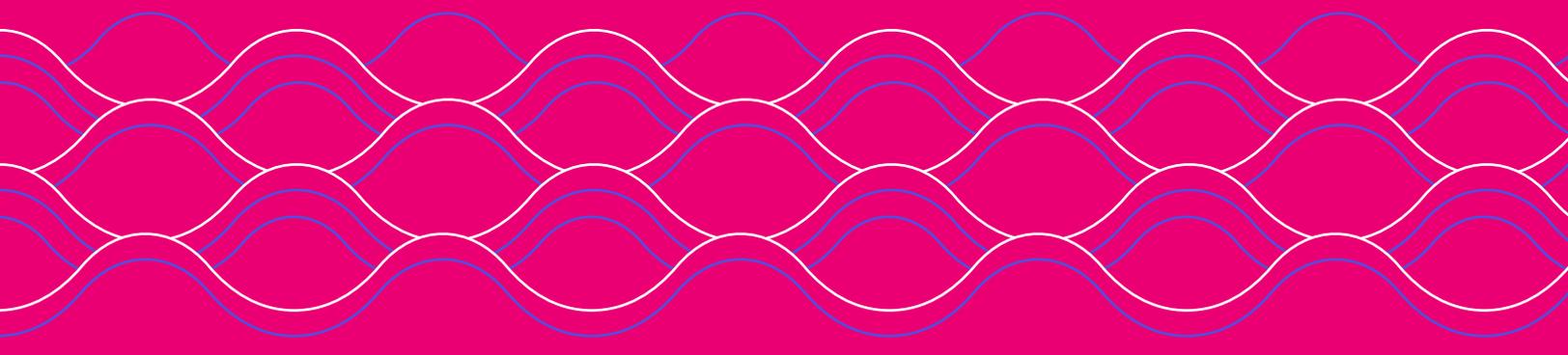




**PARTE IV.**

---

**PERSPECTIVAS FUTURAS**



En esta parte se presenta una revisión del estado del arte en cuanto modelos exitosos de entidades supervisoras a nivel internacional, el estado de avance en tecnología y sensorización para el sector sanitario, así como propuestas futuras relacionadas a este sector. Esta información le sirve de base a la Superintendencia de Servicios Sanitarios para identificar las principales oportunidades y posibles planes de acción para llevar la gestión y supervisión del sistema de agua potable chileno a un estándar de primer nivel, considerando la exitosa experiencia internacional.

## 12. MODELOS INTERNACIONALES DE ENTIDADES SUPERVISORAS

Internacionalmente, se identifican modelos de supervisión en que las entidades encargadas de suministrar agua potable —ya sean públicas o privadas— realizan un seguimiento integral de la calidad del servicio del agua potable desde la fuente al grifo; y los organismos públicos a cargo de su fiscalización hacen disponible esta información a la sociedad. Ejemplos de esto son Reino Unido, Corea del Sur y Estados Unidos, como se muestra a continuación.

### 12.1. Reino Unido: Inglaterra y Gales

En el caso de Inglaterra y Gales, en Reino Unido, tanto la prestación de servicios como la infraestructura es privada, mientras que la gestión de los recursos hídricos está en manos del sector público. La Agencia de la Autoridad Reguladora del Servicio del Agua para Inglaterra y Gales (Water Service Regulation Authority for England and Wales, OFWAT) realiza la regulación económica, y la Agencia de Inspección de Agua Potable (Drinking Water Inspectorate, DWI) regula la calidad del agua potable (DWI, 2020a; OFWAT, 2020).

La OFWAT regula específicamente la relación precio y calidad del servicio, para lo cual establece límites a los precios de los servicios de agua y alcantarillado, promueve una competencia efectiva, garantiza el autofinanciamiento de las empresas de servicios sanitarios y que estas desempeñen adecuadamente sus funciones reglamentarias. Esta institución mide la calidad del servicio que las empresas brindan a los clientes. Actualmente, el 91% de los clientes está satisfecho con los servicios de agua potable y un 86% con los servicios de alcantarillado; en cuanto al ANC, Inglaterra y Gales promediaron un 20,6% (IBNET, 2020).

En relación con los límites de precios, se establecen compromisos para cada período de revisión de estos. Para el período de revisión de 2020 a 2025, se ha establecido reducir la duración promedio de las interrupciones del suministro a cinco minutos, lo cual significará para la mayoría de las empresas implementar formas innovadoras de monitorear la demanda en las redes de suministro y responder rápidamente a interrupciones no planificadas. Asimismo, realizan investigación sobre presuntas infracciones de la ley de competencia y sobre problemas menores que afectan a personas, abordando la resolución de reclamos y fallas de las empresas. Por lo mismo, en su página web cuentan con información de desempeño de las empresas de agua (OFWAT, 2020).

Por su parte, la DWI presta asesoramiento técnico a las autoridades locales para que realicen su labor de fiscalización de la calidad del agua, desarrolla informes trimestrales y anuales de la calidad, que quedan disponibles en su página web, en base a información entregada por las empresas de agua y por inspecciones e investigaciones realizadas por la misma DWI (DWI, 2020a).

Los clientes de Inglaterra y Gales pueden visualizar la calidad del agua potable tanto en la página de DWI como en las compañías de agua, y actualmente, gracias a una colaboración entre las empresas de agua y los organismos fiscalizadores, se cuenta con una plataforma web ([www.discoverwater.co.uk](http://www.discoverwater.co.uk)), en la que los clientes pueden visualizar de manera fácil, rápida e interactiva el desempeño de los servicios sanitarios de cada compañía de agua, compararla con otras y con datos históricos. Tiene una gran cantidad de datos que cubren calidad del agua, fugas, bajas presiones, roturas de tubería, satisfacción del cliente, entre otros (DWI, 2020b). En la Figura 36 se puede ver la vista principal de la plataforma Discover Water, y la Figura 37 muestra un ejemplo de parte de la información que tiene esta plataforma, en el caso específico de la calidad del agua.

Figura 36. Vista de la portada al ingresar a la plataforma Discover Water.

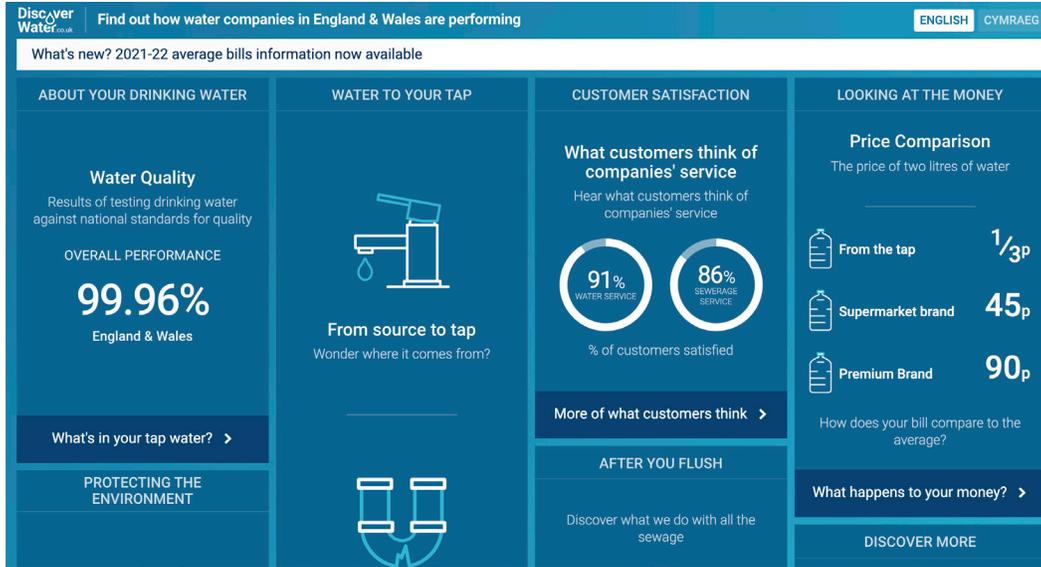
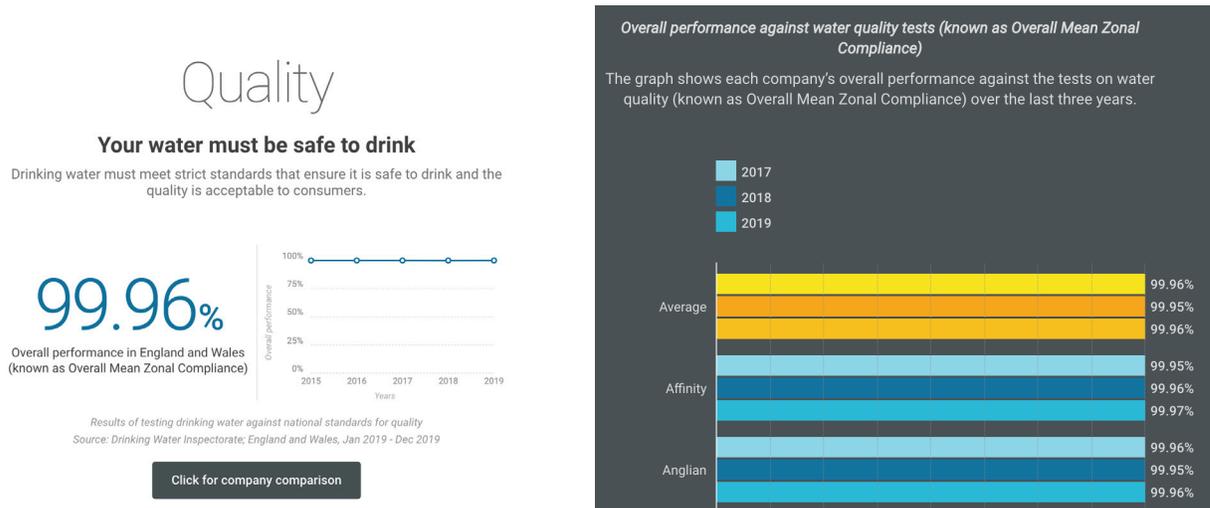


Figura 37. Ejemplificación de parte de la información que muestra la plataforma Discover Water, en el caso específico de calidad del agua.



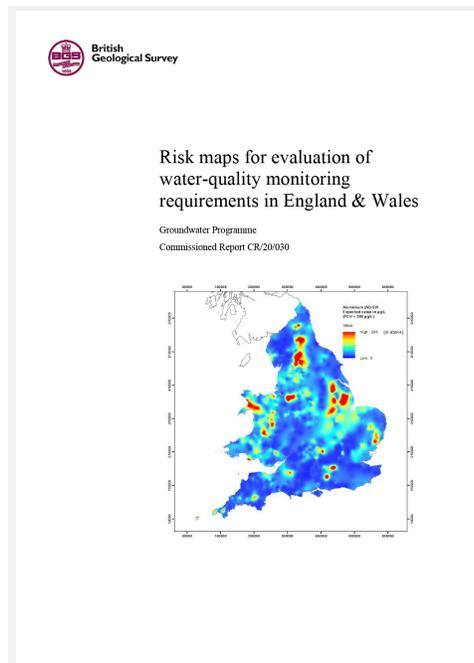
Además, desde 2012 la DWI pone a disposición de las autoridades locales planillas de cálculo para la **evaluación de riesgos**, relacionados al peligro potencial para la salud. Estas herramientas se producen bajo licencia, lo que permite a terceros utilizarlas mediante un acuerdo con la autoridad local, y sin alterarlas, copiarlas o utilizarlas para obtener beneficios comerciales, por lo que las planillas se proporcionan en un formato protegido. En la Figura 38 se puede ver un pequeño

detalle de estas planillas. En la misma línea, y dado que la DWI invierte en investigación, actualmente trabaja en **mapas de riesgos** para la mayoría de los parámetros químicos indicados en la Directiva de Agua Potable. Esta nueva herramienta, que se encuentra en proceso de desarrollo (Figura 39), estará en línea para que las autoridades locales puedan ver, editar y gestionar la información, siendo además más moderna y amigable con los usuarios (DWI, 2020c).

Figura 38. Planilla Excel de la herramienta de evaluación de riesgos para el suministro de agua.

Private Water Supply: Risk Assessment tool						
Local Authority:		Supply Reference:		Supply Name & Address:		
Estimated daily volume of water supplied (m3 per day):		Normal number of consumers served (maximum):		Date of Risk Assessment:		
Regulation Supply Type:			Assessor:			
Addresses of connected sites						
Name of person / organisation	Relevance	Telephone number	Address	Email	Purpose	Comments
Description of Supply						

Figura 39. Reporte sobre la investigación: “Mapas de riesgo para la evaluación de las exigencias del monitoreo de la calidad del agua en Inglaterra y Gales”.



## 12.2. Estados Unidos

En Estados Unidos, los proveedores de agua son en su mayoría públicos y abastecen aproximadamente al 89% de la población; el resto corresponde a empresas privadas. Las Comisiones Reguladoras son las que vigilan el aspecto económico, especialmente lo concerniente a tarifas de agua potable. Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) es la encargada de proteger la salud humana y el medio ambiente (aire, agua y suelo). Respecto al agua, reglamenta la calidad del agua potable y residual. Esta institución, además, cuenta con una componente científica y de investigación, ya que mantiene centros y programas de investigación, organizaciones de asesoría científica y un inventario con modelos, herramientas y bases de datos disponibles gratuitamente (EPA, 2020a).

La EPA exige a las empresas públicas que suministran agua potable la entrega a sus clientes de un informe anual de la calidad del agua potable local, sus fuentes de agua, la contaminación y sus riesgos. En la misma línea, la agencia ha creado el programa ***How's My Waterway*** para informar al público sobre el estado de sus aguas locales, en base a datos que les proporcionan los Estados, Agencias Federales, localidades y otros (EPA, 2020b).

La EPA proporciona fondos a los servicios públicos en el ámbito del agua, entrega recursos a las empresas públicas que suministran agua para diseñar Sistemas de Respuesta y Vigilancia (SRS) de la calidad del agua, los cuales monitorean la calidad de este recurso, la infraestructura, la percepción del cliente y la salud pública, y entregan respuestas ante eventos de contaminación. Para lograr esto, la herramienta evalúa las capacidades de la empresa, identificando los recursos existentes que se pueden aprovechar para mejorar sus capacidades de respuesta y vigilancia. La EPA ofrece recursos, documentos y herramientas para respaldar el diseño y la implementación de estos sistemas, además de desarrollar distintos escenarios de riesgo (EPA, 2020c).

En cuanto a su componente científica, esta institución ha desarrollado varias herramientas como **EPANET**, un programa computacional de dominio público que analiza los sistemas de distribución de agua potable, predice el comportamiento hidráulico y la calidad del agua, y simula los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos (uniones de tuberías), los niveles en los depósitos y la concentración de las especies químicas presentes en el agua. Esto ayuda a planificar mejoras en las redes, a detectar puntos críticos, a evaluar la calidad y el tiempo de vida útil de los materiales, a regular

las presiones en la red, a reducir los costes de operación, a planificar las situaciones de emergencia, a apoyar en el diseño de programas de muestreo, a estudiar las pérdidas de desinfectantes y la formación de subproductos, a evaluar estrategias para mejorar la calidad del agua, etc. Se ha desarrollado, además, otra versión, EPANET 2, que permite a las compañías de agua utilizar sistema de información geográfica (SIG). Esta versión posee extensiones, como EPANET-MSX, que permite modelar reacciones complejas entre múltiples especies químicas y biológicas, y EPANET-RTX, para construir modelos hidráulicos y de calidad del agua en tiempo real. Los datos operativos se pueden conectar con un modelo de infraestructura de red, y el modelo de simulación de red resultante se puede calibrar, verificar y probar continuamente para confirmar su precisión, utilizando datos operativos (EPA, 2020d).

Es importante señalar que Estados Unidos ha informado que el ANC corresponde a un 16% (EPA, 2015), a diferencia de Chile, que alcanza un 32,9% del volumen de agua producida (SISS, 2020d), y dado el contexto actual de escasez hídrica, se hace urgente avanzar en el desarrollo de metodologías de análisis y tecnologías para cuantificar, trazar y reducir las pérdidas.

## 12.3. Corea del Sur

Corea del Sur es uno de los países que más ha invertido en el sector del agua y cuenta con la Corporación de Recursos Hídricos (K-Water), una agencia gubernamental que gestiona los recursos hídricos de manera integral (K-Water, 2020a). En este país, en general, el suministro de agua potable y saneamiento están a cargo de empresas municipales, aunque más de la mitad de las plantas de tratamiento de aguas residuales son de propiedad y gestión privada (K-Water, 2020a; Lee, 2019). K-Water suministra agua extraída de represas o ríos nacionales (fuentes multiregionales), mientras que los gobiernos locales suministran agua de sus propias fuentes. En algunas localidades, la corporación tiene a cargo las fuentes locales, en la modalidad de consignación (K-Water, 2020a, 2018).

K-Water construye, opera y/o gestiona obras sanitarias y de alcantarillado, realiza investigación y desarrolla diferentes programas. Un ejemplo de estos programas es el denominado **Smart Water City**, el cual está en expansión y consiste en la monitorización de todo el proceso de abastecimiento de agua de una ciudad, desde las fuentes hasta los hogares, por medio de la medición de la calidad del agua, su presión

y caudal, lo que ha llevado a disminuir las fugas y mejorar la calidad del agua. Este sistema, además, posee inspección y limpieza avanzada de tuberías, que no interrumpen el suministro de agua (K-Water, 2020b, 2018).

En cuanto a su componente científica y de investigación, esta agencia realiza proyectos relacionados con todo el ciclo del agua (**Integrated Water Resource Management, IWRM**), analizando datos hidrológicos en tiempo real, estudiando y gestionando datos de cuencas, ríos y aguas subterráneas, realizando modelos de predicción, utilizando tecnologías que apoyen la toma de decisiones, etc. Esto permitiría el uso y la gestión eficientes de los recursos hídricos (K-Water, 2020c, 2018).

### 13. ESTADO DEL ARTE EN TECNOLOGÍA Y SENSORIZACIÓN

En la parte II se describió el proceso de producción de agua potable y la tecnología que actualmente utilizan las sanitarias para realizar un monitoreo de los procesos y así asegurar que la calidad del servicio de agua potable se ajuste a la normativa vigente. Dicho levantamiento revela que, si bien las empresas de servicios sanitarios contemplan planes de tecnologización de las distintas etapas de producción de agua potable, el nivel de sensorización en Chile es aún escaso y se concentra principalmente en la etapa de potabilización, por lo que hay un amplio espacio de avance en esta materia. A continuación, se resumen el estado actual de la tecnología en sensores para el monitoreo de sistemas de agua y las posibles aplicaciones al caso chileno.

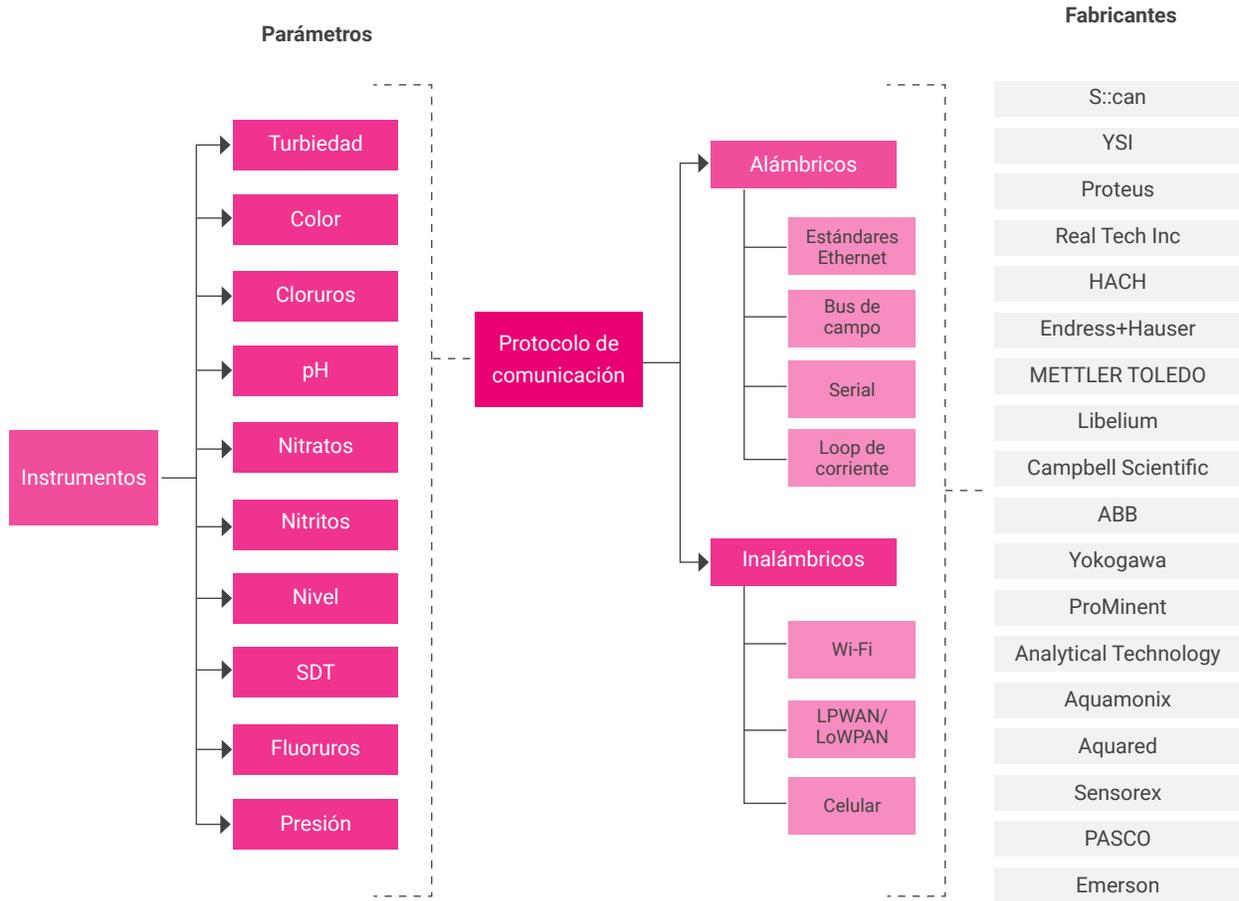
En el mercado internacional, se puede encontrar una amplia variedad de fabricantes de instrumentos que miden distintos parámetros del proceso de producción y distribución de agua potable, y que utilizan diferentes protocolos de comunicación, dependiendo de las necesidades de los usuarios. Entre los principales fabricantes, se pueden mencionar: S::can, YSI, HACH y Endress+Hauser, que producen una gran variedad de sensores. En cuanto a los parámetros medidos, se incluyen turbiedad, color, cloruros, pH, nitritos, nitratos, sólidos disueltos totales (SDT), fluoruro, nivel, presión, entre otros. En la Figura 40 se muestran algunos de los parámetros medidos, los protocolos de comunicación utilizados por los instrumentos de medición y los fabricantes más conocidos en el mercado. Para más detalles sobre esto, revisar la Tabla C.3 del Anexo C, en donde se presenta un catastro de los instrumentos y los sensores utilizados en los sistemas de agua potable y actualmente disponibles en el mercado.

Los protocolos de comunicación se pueden clasificar en dos grupos: alámbricos e inalámbricos. A su vez, los alámbricos se pueden dividir en: estándares Ethernet, bus de campo, serial y loop de corriente, y los inalámbricos en: Wi-Fi, LPWAN/ LoWPAN y celular (para más detalles, véase la Tabla C.3 del Anexo C). Los instrumentos de medición que utilizan protocolos de comunicación alámbricos requieren de una conexión física a una unidad concentradora de datos o un equipo de red que provea acceso a dicha unidad concentradora. La tecnología específica, sea bus de campo, loop de corriente o protocolos basados en estándares Ethernet, dependerá directamente de las características de las unidades concentradoras de datos. Alternativamente, los instrumentos que utilizan protocolos de comunicación inalámbricos no requieren de una conexión física, lo que da libertad en cuanto a la ubicación de los instrumentos. Sin embargo, se requiere de una infraestructura de redes inalámbricas que permite transmitir los datos a una unidad concentradora remota. Si bien actualmente las tecnologías celulares son las más utilizadas en entornos urbanos, la tendencia apunta a la utilización de tecnologías de alto alcance y baja potencia (LPWAN), dadas las bajas tasas de datos requeridas por los instrumentos utilizados en sistemas de agua potable urbanos.

La definición de la tecnología a utilizar en la instrumentación de un sistema de agua potable urbano depende de diversos factores. En zonas aledañas a las plantas de producción, se hace factible utilizar instrumentos que se integren directamente a los sistemas de control de las empresas productoras, en base a protocolos alámbricos. Alternativamente, se pueden utilizar instrumentos inalámbricos que se integren a las redes de sensores de las empresas productoras, en base, por ejemplo, a estándares Wi-Fi o LoWPAN. Por otra parte, en zonas urbanas densas, es natural inclinarse por tecnologías celulares, aprovechando la amplia cobertura de redes celulares en entornos urbanos y la alta oferta de instrumentos con capacidades de comunicación celular. Las tecnologías LPWAN son incipientes en su uso en Chile, sin embargo, como se mencionó anteriormente, representan la opción natural una vez que alcancen un grado de madurez suficiente.

La instrumentación de un sistema de agua potable urbano es un proyecto de gran envergadura; en la etapa de ingeniería se deben definir los parámetros a medir, los equipos necesarios y las tecnologías de comunicaciones que se utilizarán. Si se desea implementar una prueba de concepto, de forma independiente a las empresas productoras, la opción más natural es desplegar algunos instrumentos que se comuniquen en base a tecnologías celulares.

Figura 40. Diagrama con información de los distintos parámetros físicos y químicos medidos en el sector sanitario, los protocolos que utilizan y algunas marcas. Elaboración propia.



## 14. PROPUESTAS FUTURAS PARA EL SECTOR SANITARIO

Ante la creciente escasez de recursos hídricos, la gestión moderna y eficiente del agua potable urbana se hace cada vez más crítica y aumenta la presión por desarrollar e implementar innovaciones y tecnologías de punta para enfrentar desafíos como el impacto ambiental de la producción de agua potable, el envejecimiento de la infraestructura sanitaria y el aumento de los costos energéticos para operar. En las siguientes secciones, se presenta un panorama general de los nuevos paradigmas y tecnologías que prometen transformar en los próximos años a la industria del agua y que deben explorarse prontamente en Chile para avanzar hacia un sistema de distribución de nivel mundial.

### 14.1. Smart Water: Sistemas de agua inteligentes

Los sistemas de gestión de agua inteligentes o Smart Water Systems (SWSs) son conjuntos integrados de productos, soluciones y sistemas que habilitan a las sanitarias a realizar un monitoreo y diagnóstico continuo y remoto de sus redes e infraestructura. Esto, con el fin de priorizar y gestionar preventivamente su mantención, controlar y optimizar todos los aspectos del sistema, usando evidencia basada en datos. Junto con mejorar el manejo de la red, los SWSs permiten también asegurar y transparentar el cumplimiento de regulaciones sobre calidad y conservación del agua, y proveen a los clientes con la información y herramientas necesarias para hacer elecciones informadas sobre su comportamiento y consumo de agua (Sensus, 2020). El concepto de SWS en el ámbito del agua urbana ha ganado creciente momentum en la academia, gobierno, industria y organizaciones especializadas (por ejemplo: SWAN Forum, EWRI, HIC, IWA, AWWA), lográndose avances tanto en la definición de un marco teórico sistemático respecto a su arquitectura y métricas (Li et al., 2019) como en la investigación de las distintas tecnologías comprendidas en su implementación.

La implementación de un SWS implica un amplio despliegue de tecnologías, que pueden visualizarse como cinco capas interconectadas de funcionalidad: i) sensores y dispositivos para la medición de presiones, flujos, composición química, temperatura, emisiones acústicas y otros parámetros relevantes para el funcionamiento del sistema; ii) canales de comunicación en tiempo real para recoger continuamente la data de sensores; iii) software para el procesamiento, integración y análisis de datos; iv) herramientas de software para el modelamiento integrado de datos en tiempo real y análisis complejos como identificación de patrones, detección de anomalías y analítica predictiva; y v) herramientas de automatización y control que

permitan a las sanitarias ejecutar tareas de gestión de red en forma remota y automática (Sensus, 2020). Adicionalmente, los modelos de SWS también pueden considerar soluciones tecnológicas para entregar a los usuarios y a la población en general información relativa al estado y gestión de la red, disponibilidad y calidad del agua, y evolución del consumo u otros temas de interés público.

Aunque a nivel global muchas sanitarias han identificado la necesidad de invertir en infraestructura inteligente, existen actualmente pocos casos de redes completamente inteligentes. Uno de los casos de SWSs más completos es la implementación de la plataforma WaterWise en Singapur, por parte de la Public Utilities Board (PUB). Este sistema consta de una red de veinticinco nodos de sensores inalámbricos enlazados con un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), y opera remotamente como una interfaz independiente basada en navegador. WaterWise asiste a los equipos de operación y planificación de PUB con servicios de soporte de decisión, incluyendo detección de eventos (fugas y rupturas), modelamiento de sistema, predicción de demanda y simulación operacional. Desde su inicio en 2009, WaterWise ha sido fundamental para la detección y localización de anomalías de presión, análisis post evento para detectar operaciones conducentes a fallas, entrega de feedback y validación en tiempo real de las decisiones adoptadas por equipos de operación, ubicación óptima de sensores de calidad, testeo y evaluación de numerosos escenarios operacionales (Allen et al., 2012).

El caso de Seosan, Corea (K-Water, 2018), destaca por el uso de monitoreo remoto y medidores inteligentes para disminuir la tasa de retorno del agua potable, aumentar la provisión de agua de la ciudad y aumentar la satisfacción de los clientes. El sistema está compuesto por 1.550 medidores inteligentes que registran los flujos de agua a nivel de hogares y transmiten la data a la compañía, mediante una red de comunicación inalámbrica de larga distancia. Los datos son utilizados para encontrar puntos de filtración de agua y para detectar patrones anómalos en el consumo. El SWS incluye, además, tecnología de control remoto de descompresión, de manera que la presión es ajustada de acuerdo con la temporada y hora del día, y reacciona de manera flexible ante cualquier problema de suministro de agua. Con ello, se mejoran los flujos de agua y se previenen además las rupturas de tuberías debido a altas presiones. Como resultado, se ha logrado un 20% de mejoría en la tasa de facturación de agua y una disminución de fugas de 190.000 m<sup>3</sup> de agua por año (K-Water, 2018).

Estas y otras experiencias internacionales han demostrado a sanitarias, entidades supervisoras e investigadores las potencialidades de la data en tiempo real combinada con analítica hidráulica, para aumentar la productividad y eficiencia de la infraestructura, mejorar el servicio a clientes y ahorrar costos. Se estima, de hecho, que a nivel global, las SWANs pueden ahorrar a las sanitarias hasta USD\$12.5 millones al año (Sensus, 2020) y que a cinco-diez años habrá cambios regulatorios que exigirán sensorización inteligente de las redes (Smart City Hub, 2021). Para su aplicación a gran escala, existen, sin embargo, desafíos de investigación y desarrollo que deben ser abordados de manera conjunta por investigadores, ingenieros, especialistas y el sector público, como, por ejemplo, la protección ante ciberataques, la incorporación del concepto de resiliencia en los SWSs para evaluar su capacidad de recuperación ante fallas y la integración y análisis de data de múltiples fuentes y resoluciones. Por su parte, las entidades supervisoras pueden premiar e incentivar las mejoras en eficiencia operacional mediante revisiones a las políticas tarifarias, definiciones de nuevos estándares de testeo y reportería, y promoción de leyes que empujen a la adopción de soluciones inteligentes (Sensus, 2020).

## 14.2. Internet de las cosas

El Internet de las cosas (Internet of Things, IoT) es una red de infraestructura inalámbrica remota que integra varias tecnologías de comunicación para permitir la interacción entre personas y dispositivos (Gonçalves et al., 2020). En el contexto de gestión de agua, el IoT es una herramienta fundamental en la conformación de redes inteligentes, ya que permite la digitalización de la infraestructura y su entorno, y la captura de múltiples tipos y fuentes de datos en tiempo real. La capa base de un SWS se compone de infraestructura física y ciberinfraestructura que incluye múltiples dispositivos inteligentes, como, por ejemplo (Li et al., 2019):

- **Sensores de calidad:** Los dispositivos IoT para control de calidad del agua incluyen varios sensores en tiempo real para medir niveles de pH, conductividad, salinidad, temperatura y composición físico-química, permitiendo así el monitoreo en vivo del estado del agua, detección de anomalías y predicción. Además, la instalación de sensores de proximidad permite alertar a las autoridades en caso de acercamiento de personas que puedan contaminar los depósitos de agua.
- **Sensores de flujo y presión:** Los medidores de flujos y presiones IoT permiten monitorear continuamente el suministro y uso de agua en distintos puntos de la red,

gestionar el flujo entre distintas líneas de distribución y detectar tempranamente pérdidas por filtración o rotura de tuberías, reduciendo así las pérdidas de agua no facturada (Gautam et al., 2020). Actualmente, un tercio de las sanitarias a nivel mundial reportan pérdidas de más del 40% de agua limpia y se estima que la reducción de un 5% mediante sensorización inteligente puede generar ahorros del orden de USD \$4.6 billones por año (Sensus, 2020).

- **Sensores ultrasónicos:** Son utilizados para medir el nivel de agua de estanques a intervalos regulares y para detectar vibraciones o señales acústicas causadas por eventuales pérdidas de agua en cañerías. Esto permite identificar tempranamente fugas en la red y monitorear el estado de infraestructura de distribución, sobre todo aquella más antigua.
- **Medidores inteligentes:** A nivel global, las redes urbanas utilizan en su mayoría medidores de consumo de agua análogos, que deben ser registrados en terreno al final de cada ciclo de facturación. El IoT ofrece en cambio medidores inteligentes que monitorean la calidad, presión y consumo de agua en un hogar o industria, y envían mediciones y alertas en tiempo real tanto a la compañía como a los usuarios, que pueden usar esta información para detectar pérdidas o fugas, para modificar sus hábitos de consumo y controlar sus cuentas. En especial, los medidores inteligentes son efectivos para reducir las pérdidas económicas por ANC.
- **Válvulas inteligentes:** La instalación de válvulas IoT en la red de distribución contribuye a prevenir roturas por sobreflujos, congelamiento o sobrepresiones, que son detectadas o pronosticadas a partir del análisis de la data de sensores inteligentes. Asimismo, son utilizadas para prevenir intrusión de contaminantes y mezclas de agua potable con agua contaminada, mediante técnicas de aislamiento de líneas de distribución y ejecución de esquemas inteligentes de gestión de flujos (Dogo et al., 2019).
- **Bombas inteligentes:** La operación remota de bombas en tiempo real es crítica, dado los altos requerimientos de energía para su funcionamiento. Al monitorear su tasa de flujo y eficiencia mediante dispositivos IoT, se ha demostrado que es posible reducir los costos asociados de energía en un 5-10% (Shanahan y Kingsford, 2021).

El avance del IoT es potenciado, además, por la llegada de las redes 5G, cuya baja latencia y capacidad de conectar millones de dispositivos en un área pequeña permite transmitir grandes cantidades de datos rápidamente, agilizando así la toma de decisiones y el control en tiempo real (Smart Water Magazine, 2021).

Finalmente, los medidores inteligentes y otros sensores IoT crean un mundo de nuevas oportunidades de vinculación entre compañías sanitarias y sus clientes. Con los nuevos datos obtenidos de medidores inteligentes, las empresas pueden adoptar estrategias y campañas para aumentar la satisfacción de clientes y disminuir el consumo (Shanahan y Kingsford, 2021; GSMA, 2017).

### 14.3. Modelos predictivos de demanda de agua potable

Los sistemas avanzados de monitoreo integral de los servicios de agua potable combinan, por una parte, el seguimiento de indicadores de servicio como volumen, presión y calidad del agua suministradas, y, por otra, el desarrollo de modelos predictivos de demanda de agua potable. La modelación de la demanda de agua urbana es un campo activo de investigación y numerosos enfoques han sido propuestos en la literatura, dependiendo de la periodicidad y resolución temporal de las predicciones (Froelich, 2015; De Souza Groppo et al., 2019), que pueden ser de corto plazo (horas, días o meses), mediano plazo (un mes a un año) o largo plazo (más de un año). Mientras que las predicciones a largo plazo son clave para la planificación y diseño del sistema de distribución de agua potable, las predicciones de demanda a mediano y corto plazo son necesarias para implementar mejoras sobre sistemas ya existentes, definir estrategias de gestión y para alertar sobre potenciales fallas de suministro que requieran de medidas preventivas (Herrera et al., 2010).

Los modelos de predicción de demanda pueden agruparse en: lineales y no-lineales, y difieren, además, en la información considerada para su construcción. Mientras algunos se basan en datos relativos a factores socioeconómicos y climáticos que afectan el consumo (Firat et al., 2009; Adamowski y Karapataki, 2010; Peña-Guzmán et al., 2016), otros modelan la demanda actual como una función de la demanda en ventanas temporales previas (Firat et al., 2010; Bai et al., 2014; Gagliardi et al., 2017). En los últimos años, se ha incrementado el uso de métodos estadísticos y de inteligencia artificial, como lógica difusa, redes neuronales artificiales (RNAs), algoritmos genéticos, aprendizaje de máquina y máquinas de soporte de vector, entre otros (Donkor et al., 2014; Froelich, 2015; De Souza Groppo et al., 2019). Gracias a su capacidad de modelar relaciones no-lineales y predecir series de tiempo multivariantes, las RNAs han ganado relevancia recientemente, particularmente para predicciones de corto plazo (Donkor et al., 2014).

Las RNAs se componen de elementos de procesamiento denominados neuronas o nodos, agrupadas en diferentes niveles o capas. Una primera capa de entrada recibe los datos reales que alimentan a la RNA, la capa de salida es el resultado visible de la red y entre ellas se sitúa un conjunto de capas ocultas, con valores de entrada y salida desconocidos. Dentro de los modelos RNA de predicción a escala mensual, comparable al nivel de resolución temporal de los datos disponibles actualmente en Chile, se cuentan, por ejemplo, aplicaciones desarrolladas para ciudades en Colombia (Peña-Guzmán et al., 2016), Malasia (Shabri y Samsudin, 2015), Canadá (Tiwari et al., 2016) y Turquía (Firat et al., 2009, 2010).

En su conjunto, los estudios desarrollados a la fecha han utilizado un número limitado de arquitecturas, siendo lo más frecuente el uso de RNAs del tipo feed-forward, más bien sencillas, en que las conexiones entre neuronas no forman ciclos (De Souza Groppo et al., 2019). Modelos más avanzados como RNAs convolucionales, recurrentes u otras arquitecturas profundas han demostrado su efectividad para la predicción de series de tiempo multivariantes (Qui et al., 2014; Borovykh et al., 2018; Núñez et al., 2020), pero no han sido aplicadas aún a la predicción de demanda de agua potable. En general, la definición del número de capas, arquitectura y algoritmos de entrenamiento de RNAs para predicción de demanda de agua potable es un problema de investigación aún abierto, que debe abordarse de forma específica para cada región, posiblemente combinando distintos modelos para lograr el mejor desempeño (De Souza Groppo et al., 2019).

### 14.4. Aplicaciones de blockchain a la gestión del agua

El desarrollo y la expansión de tecnologías de *blockchain* se han transformado en los últimos años en un área de activa innovación más allá de su uso en criptomonedas y en el sector financiero, atrayendo a individuos y entidades públicas y privadas interesadas en incorporarlas en el ámbito de protección ambiental y sustentabilidad. Una cadena de bloques o *blockchain* consiste en un sistema de registro digital y descentralizado, en que archivos digitales (como transacciones o contratos) son combinados en bloques, en secuencia cronológica, y almacenados en una base de datos distribuida. Es decir, son copiados y almacenados en muchas ubicaciones al mismo tiempo. La data es protegida mediante técnicas complejas de criptografía, de manera que la información escrita en la base de datos no puede

ser eliminada ni modificada, por lo tanto, los registros de transacciones son inmutables. Igualmente, por su naturaleza distribuida, la data de *blockchain* es compartida a través de la red, sin que exista una entidad única que la administre o controle, permitiendo así intercambios directos entre pares (peer-to-peer), sin la necesidad de intermediarios como bancos (GWI, 2018).

Las principales ventajas de esta tecnología radican en su transparencia y en su capacidad para mantener registros en forma segura, consistente y automatizada, liberando tiempo y recursos. Por ello, las propuestas piloto de utilización de *blockchain* en la industria del agua se han enfocado principalmente en dos tipos de aplicaciones: mercados de agua y sistemas inteligentes de gestión de agua.

### **Blockchain y mercados de agua**

Los mercados de agua son medios que permiten la interacción entre compradores y vendedores de bienes relacionados con agua (aguas de desecho, aguas lluvia, derechos de agua) y facilitan el intercambio. Típicamente, el agua es gestionada como una industria de servicios en que el precio es determinado por agencias supervisoras reacias a cambiar los precios del agua en base a la calidad y cantidad disponible, generando distorsiones como subprecio y sobreconsumo. Otras falencias comunes de los mercados de agua son las asimetrías de información entre vendedores y compradores, altos costos de infraestructuras y transacciones, y mecanismos regulatorios poco robustos (Abisla et al., 2019).

Para aumentar la eficiencia y transparencia de mercados, a nivel internacional se han explorado aplicaciones *blockchain* al comercio de derechos de agua, contratos de tratamiento de aguas e intercambio de datos, entre otros. Estos desarrollos se basan en el uso de contratos inteligentes o pedazos de código insertos en la red de *blockchain*, que automáticamente transfieren criptomonedas entre las partes cuando se cumplen ciertas condiciones estipuladas (GWI, 2018). Por ejemplo, la compañía estadounidense OriginClear ha creado el protocolo WaterChain (<https://waterchain.io/>) para generar transparencia y eficiencia en la industria del tratamiento de aguas, en que los pagos son típicamente lentos y riesgosos, facilitando así el financiamiento de proyectos globalmente. En Australia, la plataforma Water Ledger (<https://waterledger.com/>) ha habilitado un ecosistema sin intermediarios, que reúne a compradores y vendedores de derechos de aguas, verifica todas las transacciones y actualiza todos los ledgers digitales y registros públicos en tiempo real (Abisla et al.,

2019). De esta manera, los tiempos y costos de transacción se reducen, y la información y reglas de comercio son visibles y accesibles para todos, generando un ecosistema de derechos de agua inteligente, robusto y confiable. En la misma línea, la empresa estadounidense AQUAOSO promueve el desarrollo de una plataforma de trazabilidad e intercambio de derechos de agua, y el consorcio chino Newater Technology desarrolla una solución *blockchain* enfocada en levantar capital para proyectos de tratamiento de aguas industriales (GWI, 2018).

### **Blockchain en sistemas inteligentes de gestión de agua**

El IoT destaca actualmente como una de las tecnologías clave para resolver problemas de conservación y gestión de recursos hídricos, mediante la digitalización y construcción de sistemas inteligentes de gestión de agua, que permitan medir y monitorear remota y continuamente las redes, y usar estos datos para controlar y optimizar todos los aspectos de su funcionamiento. Sin embargo, el uso de IoT en sistemas de agua inteligentes presenta también desafíos relacionados con seguridad y privacidad de grandes volúmenes de data que es generada por sensores, transmitida a través de la web y almacenada en la nube, con la regulación legal del acceso y uso de dicha data, y con la interoperabilidad y estandarización de las múltiples tecnologías que componen el ecosistema IoT (Dogo et al., 2019). Al integrar en este contexto la tecnología *blockchain*, la data generada por componentes del IoT se mantiene y transfiere en un registro inmutable y distribuido, asegurando así la seguridad, fidelidad y confidencialidad de la información, y disminuyendo el riesgo cibernético de las instalaciones de agua.

La integración de IoT con *blockchain* surge entonces como una sinergia que promete transformar el manejo de agua y servicios sanitarios, y en los últimos años se han desarrollado algunos prototipos que ejemplifican este potencial. Por ejemplo, la empresa IBM ha piloteado tecnologías IoT y *blockchain* para la medición precisa, inmediata y transparente del uso de aguas subterráneas en Sacramento, California. En esta implementación, los sensores remotos IoT transmiten datos relativos a extracción de agua, a una plataforma *blockchain* en la nube, que registra todos los intercambios de datos o transacciones. A futuro, se considera incorporar además contratos inteligentes para permitir comercio de cuotas de extracción (Chohan, 2019). También se encuentra en la etapa de propuesta una plataforma *blockchain*-IoT para el manejo de aguas de desecho, en la cual una planta o industria realiza el tratamiento de aguas servidas y envía los registros de sensores de calidad de agua a un *blockchain*. Este recibe y

aprueba las señales, y envía una aprobación a actuadores IoT, que autorizan la descarga de agua en las cantidades y tiempos estipulados en un contrato inteligente (Pandian et al., 2020). En general, se espera que a futuro la tecnología *blockchain* pueda ser acoplada a sistemas de monitoreo de calidad del agua y a medidores inteligentes, a modo de facilitar el control, facturación y gestión inteligente del agua, y así potenciar prácticas de producción y consumo sustentables.

#### 14.5. Realidad aumentada para el monitoreo de sistemas de agua

La realidad aumentada (RA) es un campo de investigación enfocado en la combinación del entorno físico con data generada por computadores para aumentar la percepción humana de una escena en tiempo real, realizando detalles visibles y desplegando otros elementos invisibles o inexistentes. La fusión virtual-real es implementada mediante interfaces gráficas de usuario (GUIs) en dispositivos portátiles (smartphones, tablets), que despliegan en tiempo real escenas configuradas continuamente de acuerdo con la posición y orientación del usuario, donde se superponen al entorno real las ubicaciones de objetos virtuales o puntos de interés, a los cuales se asocia información almacenada en bases datos (Mirauda et al., 2017).

El monitoreo de infraestructura hidráulica y redes de agua demanda el trabajo en terreno de personal técnico típicamente escaso, debe realizarse a veces en ubicaciones remotas o puede requerir la inspección de elementos subterráneos cuya ubicación es imprecisa, como las redes de distribución. La RA puede asistir estas operaciones, facilitando la visualización de data espacial y ambiental, datos de sensores instalados en fuentes de agua o equipos, información histórica, resultados de modelos o escenarios simulados, representaciones virtuales de equipamiento, fotografías, etc. Al acceder y visualizar esta información en línea, las actividades de control y monitoreo se hacen más rápidas y precisas, se facilita la colaboración y entrenamiento por parte de expertos que pueden participar de manera remota, el proceso de toma de decisiones se hace más dinámico e informado, y el tiempo y costo de las operaciones en terreno disminuye.

El reconocimiento del valor de la RA para la industria sanitaria ha impulsado el desarrollo de aplicaciones diseñadas para sistemas o usuarios específicos del ecosistema de gestión de agua. Por ejemplo, en España, ACCIONA Agua ha desarrollado un sistema de RA para una de sus plantas de tratamiento, en que cada operario contempla el espacio de trabajo con una serie de hologramas superpuestos que

ofrecen la medición de diversos sensores, con el fin de facilitar la optimización y mantención de sus instalaciones, y crear entornos formativos (iAgua, 2017). La compañía inglesa Northumbrian Water, por su parte, ha iniciado pruebas para habilitar tecnologías de AR que permitan a técnicos experimentados guiar remotamente a equipos en terreno para la ejecución de tareas complejas requeridas para la mantención de sus redes de agua y alcantarillado. En Japón, la sanitaria Metawater ha equipado a sus operarios con gafas de RA que les permiten inspeccionar el estado de equipos y piezas de una planta de procesamiento de agua e identificar anomalías sin necesidad de tener conocimientos técnicos exhaustivos (Fujitsu, 2016).

En algunos países como Inglaterra y Grecia, la RA se ha explorado también como una herramienta de vinculación con la ciudadanía, mediante el diseño de aplicaciones que permiten a los usuarios visualizar sus consumos de agua y algunos procesos de reutilización, a modo de educar e involucrar a los usuarios en prácticas de sustentabilidad (Water World, 2021).

#### 14.6. Gemelos digitales

La necesidad de manejar cantidades crecientes de datos y mejorar, al mismo tiempo, la eficiencia operacional ha impulsado a la industria del agua potable a avanzar hacia la implementación de herramientas digitales avanzadas que contribuyan a mejorar el rendimiento de su infraestructura, como los gemelos digitales (GD). Estos pueden definirse como una representación virtual sistemática de los elementos y dinámicas de un sistema, mediante una combinación de herramientas, como enlaces de transferencia de datos, almacenamiento de datos, interfaces de usuario, modelos de simulación, módulos de análisis e inteligencia artificial (Pedersen et al., 2021). De esta forma, un GD permite intercambiar y utilizar en tiempo real data de múltiples fuentes, para simular el comportamiento esperado, deseado o crítico del sistema físico, con tanta precisión y resolución temporal como se requiera.

En el contexto del sector sanitario, los GDs pueden apoyar la transición hacia un manejo proactivo de la infraestructura de agua, en el cual los sistemas y procesos sean operados para mitigar anomalías antes de que estas impacten negativamente el nivel de servicio. Al permitir un entendimiento detallado de distintos sistemas de producción, distribución y tratamiento de aguas, los GD permiten diseñar y testear nuevos métodos de control de instalaciones nuevas y antiguas, simular escenarios extremos para analizar de manera

segura posibles fallas, predecir el comportamiento de infraestructura e instalaciones en períodos desde horas a días y optimizar distintos tipos de proceso (por ejemplo: operación de bombas, tratamiento químico del agua). Adicionalmente, un GD puede ser utilizado como una poderosa herramienta de entrenamiento, ya que permite replicar los flujos de datos, visualizaciones, alarmas y notificaciones que experimentaría un operador en distintas situaciones, simular condiciones de funcionamiento extremas raramente observadas en un ambiente seguro y testear posibles decisiones del operador, sin arriesgar la seguridad de la infraestructura real.

En la actualidad, existen varias iniciativas de implementación de GD que ilustran el ímpetu de la industria del agua por avanzar en soluciones digitales. Como primer ejemplo, la ciudad de San Diego, California, está en las primeras etapas de implementación del programa PureWater, que proveerá un tercio del agua de la ciudad hacia 2035. Dentro de la nueva infraestructura contemplada, se incluye una avanzada planta de purificación que utilizará un GD para simular dinámicamente los procesos de tratamiento de agua, con el fin de identificar y reducir desafíos operacionales, simular esquemas de control, predecir el resultado de procesos y operar en el largo plazo como una plataforma de entrenamiento (Curl et al., 2019). Similarmente, la Agencia Nacional de Agua de Singapur se encuentra en la fase de investigación y desarrollo para crear un GD de la planta de tratamiento de aguas de Changi, con el objetivo de informar la operación y mantenimiento de las instalaciones, contribuyendo a una mejor productividad y resiliencia operacional (Valverde-Pérez et al., 2021).

En el ámbito de distribución de agua potable, una de las primeras redes para la cual se ha logrado el desarrollo y mantenimiento de un GD en vivo es la del área metropolitana de Valencia (Conejos et al., 2020), siendo utilizado exitosamente en la operación cotidiana, mantenimiento y planificación del sistema. Por otra parte, en las ciudades suecas de Gothenburg y Helsinborg se ha aplicado el concepto de GD para el manejo de redes de alcantarillado y en particular de problemas de desbordamientos y derrames de aguas no tratadas. En este caso, el GD opera como un sistema de soporte de decisión con predicción en línea de flujos y sugerencias de estrategias de control, y se proyecta llegar en 2021 a un control predictivo por modelo (MPC). Su implementación ha permitido llegar a reducciones del 30-50% en los eventos de desbordamiento (Valverde-Pérez et al., 2021). Otro caso a seguir es el de la empresa sanitaria danesa VCS (VandCenter Syd), que desde 2008 ha avanzado hacia la construcción de un GD del sistema de alcantarillado urbano, orientado a observar, comprender y documentar el funcionamiento de la red en base a un modelo hidráulico de alta fidelidad, alimentado

con datos de múltiples sensores de nivel y flujo de aguas, pluviómetros y radares climatológicos (Pedersen et al., 2021).

Los casos de estudio mencionados ilustran los beneficios de los GD para la gestión y operación de todo tipo de infraestructura relacionada con agua, incluyendo estaciones de bombeos, redes de tuberías, tanques de almacenamiento y plantas de tratamiento. Sin embargo, también aparecen desafíos compartidos, como, por ejemplo, las dificultades para asimilar datos de distintas fuentes (SCADA, lecturas de sensores, sistemas de información geográfica, etc.) y generar procesos robustos de transferencia de datos, altos requerimientos computacionales para evaluar rápidamente distintos modelos y escenarios, y generar predicciones, incertezas de modelos predictivos asociados a pronósticos climáticos y generación de confianza en el GD entre operadores y usuarios. El proceso de desarrollo e implementación de GDs exige también a las empresas sanitarias repensar sus infraestructuras de datos, que tradicionalmente han sido cerradas y limitadas a expertos, y considerar un enfoque de data abierta. Para ello, se debe avanzar también en un camino de colaboración confiable y transparente entre compañías, consultoras, investigadores y contrapartes supervisoras.

#### 14.7. Ciberseguridad en sistemas de agua

Los sistemas de agua potable son parte de la infraestructura crítica que debe estar permanentemente operativa, ya que cualquier perturbación o suspensión de sus operaciones tiene un impacto severo sobre el bienestar de los hogares, la salud pública y la mantención de servicios esenciales para la sociedad. La transición hacia sistemas de agua inteligentes provee, por una parte, enormes oportunidades para aumentar la eficiencia operacional y mejorar en general el servicio, pero implica, al mismo tiempo, un mayor riesgo de sufrir ataques cibernéticos (Rasekh et al., 2016), incluyendo ransomware, ataques a individuos mediante spear phishing, intrusión en sistemas de control industrial, robos de credenciales, robos de información sensible o utilización de recursos del host, entre otros. Por lo tanto, la modernización y creciente digitalización del sector sanitario requiere considerar la ciberseguridad como máxima prioridad.

Una revisión de incidentes de ciberseguridad en el sector sanitario alrededor del mundo (Hassanzadeh et al., 2020) revela un aumento en la frecuencia, diversidad y complejidad de los ataques en las dos últimas décadas. A continuación, se reseñan algunos ejemplos ilustrativos de la variedad y alcance de estas amenazas:

- **2016, empresa sanitaria no identificada, EE. UU.:** Una evaluación proactiva del sistema de ciberseguridad a nivel de sistemas de operación (distribución, control y medidores) y de información (datos personales y facturación de clientes) identificó violaciones a las aplicaciones de pago online y a las aplicaciones de manipulación de válvulas y controles de flujo, que resultaron en la filtración de 2.5 millones de registros de datos y en la alteración de flujos y composición química del agua.
- **2018, empresa sanitaria Onslow, Carolina del Norte, EE. UU.:** Cuando se recuperaba del paso del huracán Florence, la empresa sufrió un ataque de ransomware que bloqueó el acceso a funcionarios y encriptó bases de datos, seguido por virus sofisticados que forzaron la desconexión de Internet de todas las instalaciones.
- **2018, empresa sanitaria europea:** Una sanitaria no identificada detectó un ataque de cryptojacking, en el que su red SCADA fue infectada con un malware para minería ilícita de criptomonedas.
- **2018, Atlanta, EE. UU.:** El gobierno municipal sufrió un ataque de ransomware que afectó a diversos servicios básicos, incluyendo el departamento de gestión de aguas, cuyos funcionarios quedaron sin acceso a computadores de trabajo e Internet (AWWA, 2019).
- **2019, Riviera Beach, Florida, EE. UU.:** La apertura de un correo electrónico infectado resultó en un ataque de ransomware sobre el gobierno local, que se expandió a los servicios de agua, comprometiendo los sistemas de control de las estaciones de bombeo y control de calidad del agua.
- **2020, Israel:** En abril de 2020, el gobierno israelí reportó intentos de intrusión a plantas de tratamiento de aguas, estaciones de bombeo y alcantarillados, con énfasis en sistemas operacionales y sistema de control de cloro. Otras instalaciones de manejo de agua para agricultura fueron atacadas más tarde en el mismo año (ZDnet, 2020).
- **2021, Oldsmar, Florida, EE. UU.:** La instalación de tratamiento de agua, que da servicio a unos quince mil habitantes, fue atacada durante cinco minutos por hackers sin identificar. Los ciberdelincuentes aprovecharon el acceso remoto para penetrar en el sistema informático. El ciberataque trató de elevar el hidróxido de sodio en el suministro de agua hasta niveles peligrosos para la salud.

Afortunadamente, el operador de la planta de tratamiento de agua detectó la intrusión, actuó rápidamente y tomó medidas para evitar el ataque. El resultado hubiera sido catastrófico: el envenenamiento de miles de personas.

En respuesta al aumento del riesgo de ataques cibernéticos, las principales agencias reguladoras, entidades gubernamentales y asociaciones gremiales relacionadas con la gestión del agua a nivel mundial, han generado guías, regulaciones, herramientas técnicas y grupos de trabajo para la adopción de buenas prácticas y políticas de ciberseguridad en el sector sanitario. Por ejemplo, la EPA ofrece diversos recursos, incluyendo guías de asistencia técnica para la evaluación y gestión de riesgo cibernético de sistemas de agua, entrenamientos para el manejo de amenazas o ataques, herramientas para el reporte de incidentes y programas de investigación para evaluar la habilidad de hackers de tomar control de sistemas de agua, entre otros (EPA, 2021).

Por su parte, la American Water Works Association (AWWA) ha elaborado una guía y herramienta de evaluación (AWWA Guidance and Assessment Tool), que provee una metodología voluntaria, específica al sector sanitario, para abordar y adoptar el marco de ciberseguridad, diseñado por el National Institute of Standards and Technology de EE. UU. (NIST). Entre las directrices de AWWA, se plantean doce categorías de prácticas de ciberseguridad y se hacen recomendaciones específicas de aplicaciones para sistemas de agua, mientras que una herramienta de casos de uso genera una lista priorizada de controles recomendados en base a las características específicas de las instalaciones de agua (AWWA, 2019).

En el caso europeo, la Directiva 2016/1148 (UE, 2016), relativa a la seguridad de redes y sistemas de información, requiere a los países miembros implementar una estrategia y medidas nacionales para prevenir, gestionar y reaccionar ante los ciberriesgos, y obliga a las empresas de servicios esenciales, como el agua, a adoptar las medidas organizacionales y técnicas proporcionales y apropiadas para prevenir riesgos y ataques a sus sistemas de operación e información. En paralelo a los avances regulatorios, los países de la comunidad han impulsado además iniciativas orientadas al desarrollo de soluciones a las amenazas físicas y cibernéticas sobre infraestructura de agua, identificando riesgos y desarrollando un marco teórico y tecnológico para la gestión de los mismos, como, por ejemplo, STOP-IT. Este es un proyecto financiado por la Unión Europea en el marco del programa Horizon 2020, que cuenta con la colaboración

de ocho socios de siete países europeos y congrega también a socios de Israel. Su objetivo es integrar los esfuerzos de múltiples entidades, entre las que están centros de investigación como SINTEF, Cetaqua o IWW, y empresas de agua como Berliner Wasserbetriebe, Aigües de Barcelona o Mekorot de Israel, para mejorar la detección y prevención de ciberataques en el ciclo integral del agua. Hasta ahora, han desarrollado decenas de herramientas que permiten comprobar el estado de la red en tiempo real o alertar de posibles ataques justo en el momento que se produzcan.

En Chile, la SISS ha iniciado un trabajo de coordinación con las áreas de ciberseguridad de las empresas sanitarias y del Equipo de Respuesta ante Incidentes de Seguridad Informática del Ministerio del Interior (CSIRT), con el objetivo de desarrollar protocolos de ciberseguridad unificados y coordinar la preparación y respuesta ante posibles ataques cibernéticos a la infraestructura digital crítica del país. De acuerdo con la experiencia internacional, este tipo de alianzas entre actores sectoriales, entidades públicas y privadas son fundamentales para una gestión exitosa de los ciberriesgos, ya que el intercambio de información, soluciones, mejores prácticas y otros recursos proveen una mayor seguridad al sector en su conjunto (AWWA, 2019). Por otra parte, dada la naturaleza remota y global de los ciberataques, un manejo efectivo de esta amenaza requiere también de cooperación e intercambios entre países, y un consenso claro y transversal respecto a la aplicación de leyes internacionales al caso específico de la ciberseguridad y a la protección de la infraestructura sanitaria.

## 15. CONCLUSIONES

El presente documento propone una guía para implementar a escala nacional el Sistema de Supervisión y Alerta Temprana para los servicios de agua potable urbanos concesionados, desde un prototipo en la Región de Coquimbo. Lo anterior, considerando desde la operación normal de los servicios y avanzando hacia aquellos impactos que eventualmente cause el cambio climático sobre los mismos. Además, entrega recomendaciones de cambios e innovaciones a ejecutar por la Superintendencia, haciendo más robusto el sistema de supervisión, en cuanto a la recepción, validación y análisis de los datos. Para esto, el documento se dividió en cuatro partes. En la parte I se realizó la introducción, se definieron los objetivos y se describió la metodología utilizada para desarrollar este documento. En la parte II se mostró el estado actual de los recursos hídricos en Chile y la realidad chilena

sobre la gestión de los servicios sanitarios. Esto sirvió de insumo para los análisis posteriores, por lo que se abordaron las características geográficas, climáticas, hidrográficas, de cambio climático, demográficas y económicas, y luego se definieron los efectos del cambio climático, del desarrollo urbano y del desarrollo económico en el sector sanitario, y se llevó a cabo una descripción sobre la actual gestión de los servicios sanitarios, por parte de la SISS y de las ESS.

Como el SSAT es una herramienta que apoya la actual labor fiscalizadora de la SISS y ayuda a enfrentar los desafíos de los servicios sanitarios, se dedicó la parte III a este sistema, en donde se realizó una descripción de estos en términos generales y, para una mayor comprensión de las ventajas del SSAT, se mostraron casos de éxito a nivel internacional y el prototipo implementado en la Región de Coquimbo. Con toda la información anterior se realizó un análisis de las brechas en el suministro de agua potable urbano, separándolas en cuatro dimensiones: climática y regional, tecnológicas, organizacional y regulatorias. En base a esto, se definieron las prioridades estratégicas para la implementación de un modelo avanzado de supervisión, que comprende recomendaciones para la expansión del SSAT a nivel nacional y una propuesta de cambios e innovaciones tecnológicas, organizacionales y regulatorias. También se señalaron los beneficios esperados y el presupuesto, si se ejecuta la propuesta de cambios. Para finalizar, la parte IV mostró experiencias exitosas en el extranjero, en cuanto a entidades supervisoras que cumplen funciones similares a la SISS y avances en tecnología y sensorización, que pueden ser implementadas por el sector sanitario a largo plazo.

La implementación de esta hoja de ruta involucra distintos desafíos, que tienen relación con aspectos organizacionales y regulatorios, los cuales deben ser definidos en mayor detalle. Asimismo, se deben señalar las acciones adecuadas para enfrentarlos, realizar constantes revisiones y un monitoreo periódico de estas acciones y al documento.

Entre los mayores desafíos está el lograr una participación activa de las sanitarias en la definición final e implementación de la hoja de ruta, lo cual pasa por establecer las confianzas necesarias para la entrega de información detallada a los procesos, sistemas de información y control utilizados, lineamientos estratégicos en pro del mejoramiento del servicio sanitario y procesos relacionados con la SISS. Esta información es fundamental para conocer la realidad de las sanitarias, sus lineamientos a futuro y para incorporar de la mejor manera posible el SSAT, aprovechando al

máximo las capacidades, los datos disponibles y mejorando y automatizando las vías de envío de información, pero sin interferir con el correcto funcionamiento de las sanitarias ni transponiendo iniciativas.

La ciberseguridad y protección de datos es también un punto crítico a abordar de forma más detallada entre las sanitarias y la SISS, ya que surge como una preocupación natural ante la propuesta de una conexión en línea para la adquisición de información, que es crítica y sensible para el correcto funcionamiento de los servicios sanitarios.

Por otro lado, se pretende seguir sosteniendo reuniones con los funcionarios de la SISS, para reevaluar prioridades que vayan surgiendo de los nuevos avances y de reuniones con las sanitarias y la SISS. Como se indicó anteriormente, involucrar a las partes interesadas, en este caso los usuarios, es vital para generar apoyo y consensos, lo que facilita la implementación de la hoja de ruta. Esto también se puede abordar mediante la realización de seminarios, en que participen las jefaturas de la SISS, la sociedad civil, otras instituciones del Estado chileno e instituciones —nacionales e internacionales— ligadas a la investigación, tanto de los sistemas de alertamiento temprano como de la gestión de riesgos.

En términos generales y para involucrar a las partes interesadas (funcionarios SISS, ESS y clientes de las sanitarias, es necesario crear un plan de gestión del cambio, con el fin de eliminar o reducir la resistencia al cambio y así materializar las recomendaciones expuestas en el presente documento, que son tendientes a la modernización y a la mejora del proceso de fiscalización de la SISS.

En relación con los cambios e innovaciones planteadas en este documento, es la SISS la encargada de realizar los cambios regulatorios para que la implementación sea llevada a cabo con éxito, y de conseguir el presupuesto necesario para materializarlas.

Por último, es relevante indicar que este documento no es estático, por lo que debe ser adaptado año a año, siendo necesaria la incorporación de nuevas acciones, de acuerdo con el avance tecnológico, regulatorio, político y social. Además, es fundamental el monitoreo en la implementación de esta hoja de ruta, ya que es esencial para garantizar que se logren los resultados planteados y que el documento tenga el éxito esperado.

## 16. REFERENCIAS

1. Abisla, R., Jash, S., Kaushik, A., Mishra, S., Padmanabhan, A., Prakash, P., Ratna, T., Simons, J., Srikumar, M. y Young, K. (2019). The Promise of Public Interest Technology: In India and the United States. Disponible en: [newamerica.org/fellows/reports/anthology-working-papers-new-americas-us-india-fellows/](https://newamerica.org/fellows/reports/anthology-working-papers-new-americas-us-india-fellows/).
2. Adamowski, J. y Karapataki, C. (2010). Comparison of multivariate regression and artificial neural networks for peak urban water-demand forecasting: evaluation of different ANN learning algorithms. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(10), 729-743. DOI: 10.1061/\_ASCE\_HE.1943-5584.0000245.
3. Adapt-Chile, Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS) y Centro de Cambio Global Universidad Católica (CCG-UC) (2014). Adaptación Urbana al Cambio Climático. Propuesta para la Adaptación Urbana al Cambio Climático en Capitales Regionales de Chile. Disponible en: [https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento\\_041\\_Proyecto-Adaptacin-Ciudades-Final-MMA\\_CCG-CEDEUS-ADAPTChile.pdf](https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento_041_Proyecto-Adaptacin-Ciudades-Final-MMA_CCG-CEDEUS-ADAPTChile.pdf).
4. Aguas Andinas (2019). Reporte Integrado 2018. Disponible en: <https://www.aguasandinas.cl/documents/20450/27675/Reporte+2018/1d269602-1843-835a-99f7-e061d3dbdaf6>.
5. Aguas del Valle (2019). Reporte de Sostenibilidad 2018. Disponible en: [http://portal.aguasdelvalle.cl/wp-content/uploads/2019/08/Reporte-de-Sostenibilidad-ADV\\_2018\\_VF.pdf](http://portal.aguasdelvalle.cl/wp-content/uploads/2019/08/Reporte-de-Sostenibilidad-ADV_2018_VF.pdf).
6. Allen, M., Preis, A., Iqbal, M. y Whittle, A. (2012). Case study: a smart water grid in Singapore. *Water Practice & Technology*, 7(4), 1-8. DOI: 10.2166/wpt.2012.089.
7. Avena, R., Coelho de Souza, F. y Alberto, C. (2017). Multicriteria Decision Analysis for Prioritizing Areas for Forest Restoration. *CERNE*, 23(1), 53-60. DOI: 10.1590/01047760201723012258.
8. American Water Works Association (AWWA) (2019). Cybersecurity Risk & Responsibility in the Water Sector. Disponible en: <https://www.awwa.org/Portals/0/AWWA/Government/AWWACybersecurityRiskandResponsibility.pdf>.
9. Bai, Y., Wang, P., Li, C., Xie, J. y Wang, Y. (2014). A multi-scale relevance vector regression approach for daily urban water demand forecasting. *Journal of Hydrology*, 517, 236–245. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.05.033.
10. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN) (2020). Chile Nuestro País: Clima y Vegetación. Disponible en: [https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index\\_html](https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/index_html).
11. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN) (2001). Decreto 90: Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquido a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=182637>.
12. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN) (1990). Ley 18902: Crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Disponible en: <https://www.leychile.cl/N?i=30274&f=2010-01-26&p=>.
13. Borovykh, A., Bohte, S. y Oosterlee, C. (2018). Conditional Time Series Forecasting with Convolutional Neural Networks. Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1703.04691.pdf>.
14. Cembrano, G., Quevedo, J., Salamero, M., Puig, V., Figueras, J. y Martí, L. (2004). Optimal control of urban drainage systems. A case study. *Control Engineering Practice*, 12 (1),1-9. DOI: 10.1016/S0967-0661(02)00280-0.
15. Centro de Cambio Global Universidad Católica (CCG-UC) (2013). Propuesta Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Disponible en: [https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento\\_28\\_Propuesta-PNACC.pdf](https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento_28_Propuesta-PNACC.pdf).

- 16.** Chohan, U. (2019). Blockchain and Environmental Sustainability: Case of IBM's Blockchain Water Management. Discussion Paper Series: Notes on the 21st Century (CRBI). Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=3334154>.
- 17.** Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2015). Efectos del Cambio Climático en la Costa de América Latina y el Caribe: Dinámicas, Tendencias y Variabilidad Climática. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3955-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-dinamicas-tendencias>.
- 18.** Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2012). La Economía del Cambio Climático en Chile. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/35372-la-economia-cambio-climatico-chile>.
- 19.** Conejos, P., Martínez, F., Martínez, M. y Alonso, J. (2020). Building and exploiting a Digital Twin for the management of drinking water distribution networks. *Urban Water Journal*, 17, 704-713. DOI: 10.1080/1573062X.2020.1771382.
- 20.** Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID) (2016). Ciencia e Innovación para los Desafíos del Agua en Chile. Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para la Sostenibilidad de los Recursos Hídricos. Disponible en: <https://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2017/04/Ciencia-e-innovacio%CC%81n-para-los-desafi%CC%81os-del-Agua-en-Chile-VF.pdf>.
- 21.** Curl, J., Nading, T., Hegger, K., Barhoumi, A. y Smoczynski, M. (2019). Digital Twins: The Next Generation of Water Treatment Technology. *Journal American Water Works Association*, 111, 44-50. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/awwa.1413>.
- 22.** De Souza Groppo, G., Azevedo, M. y Libânio, M. (2019). Predicting Water Demand: A Review of the Methods Employed and Future Possibilities. *Water Supply*, 19(8): 2179-2198. Disponible en: DOI:10.2166/ws.2019.122.
- 23.** Dirección General de Aguas (DGA) (2017a). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos. Informe Final, vol. 2. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/01%20Informe/Informe%20Final%20Vol%20II.pdf>.
- 24.** Dirección General de Aguas (DGA) (2017b). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos. Informe Final, vol. 3. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/01%20Informe/Informe%20Final%20Vol%20III.pdf>.
- 25.** Dirección General de Aguas (DGA) (2015). Atlas del Agua: Chile 2016. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/DGADocumentos/Atlas2016parte1-17marzo2016b.pdf>.
- 26.** Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (2020a). Eventos Extremos en Chile 2019. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos/2019>.
- 27.** Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (2020b). Reporte Climático año 2019. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/reporteClimatologico/2019>.
- 28.** Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (2019). Eventos Extremos en Chile 2018. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos/2018>.
- 29.** Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (2018). Eventos Extremos en Chile 2017. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos/2017>.
- 30.** Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (2017). Eventos Extremos en Chile 2016. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos/2016>.

31. Dirección Meteorológica de Chile (DMC) (2016). Eventos Extremos en Chile 2015. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/publicaciones/boletinEventosExtremos/2015>.
32. Dogo, E., Salami, A., Nwulu, N. y Aigbavboa, C. (2019). Blockchain and Internet of Things-Based Technologies for Intelligent Water Management System. In: Al-Turjman F. (ed.), *Artificial Intelligence in IoT*. Transactions on Computational Science and Computational Intelligence. Springer, Cham, pp. 129-150. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04110-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04110-6_7).
33. Donkor, E., Mazzuchi, T., Soyer, R. y Roberson, J. (2014). Urban water demand forecasting: review of methods and models. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(2), 146-159. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000314.
34. Donoso, G. (2018). *Water Policy in Chile*. Springer International.
35. Drinking Water Inspectorate (DWI) (2020a). What we do. Disponible en: <https://www.dwi.gov.uk/what-we-do/>.
36. Drinking Water Inspectorate (DWI) (2020b). Consumers. Disponible en: <https://www.dwi.gov.uk/consumers/>.
37. Drinking Water Inspectorate (DWI) (2020c). Risk Assessment. Disponible en: <https://www.dwi.gov.uk/private-water-supplies/local-authorities/risk-assessment/>.
38. Environmental Protection Agency (EPA) (2021). *Cybersecurity Best Practices for the Water Sector*. Disponible en: <https://www.epa.gov/waterriskassessment/epa-cybersecurity-best-practices-water-sector>.
39. Environmental Protection Agency (EPA) (2020a). About EPA. Disponible en: <https://www.epa.gov/aboutepa>.
40. Environmental Protection Agency (EPA) (2020b). How's my waterway. Disponible en: <https://www.epa.gov/waterdata/how-s-my-waterway>.
41. Environmental Protection Agency (EPA) (2020c). *Water Quality Surveillance and Response*. Disponible en: <https://www.epa.gov/waterqualitysurveillance>.
42. Environmental Protection Agency (EPA) (2020d). EPANET. Disponible en: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.
43. Environmental Protection Agency (EPA) (2015). *Water Audits and Water Loss Control for Public Water Systems*. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/epa816f13002.pdf>.
44. Essbio (2020). *Memoria 2019*. Disponible en: [https://www.essbio.cl/essbio\\_inc/pdf/inversionistas/memorias/MEMORIA\\_ESSBIO.pdf](https://www.essbio.cl/essbio_inc/pdf/inversionistas/memorias/MEMORIA_ESSBIO.pdf).
45. Fundación Chile (FCh) (2018). *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile. Escenarios Hídricos 2030 Chile*. Disponible en: <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/radiografia-del-agua.pdf>.
46. Firat, M., Yurdusev, M. y Turan, M. (2009). Evaluation of artificial neural network techniques for municipal water consumption modeling. *Water Resources Management*, 23, 617-632. DOI: 10.1007/s11269-008-9291-3.
47. Firat, M., Turan, M. y Yurdusev, M. (2010). Comparative analysis of neural network techniques for predicting water consumption time series. *Journal of Hydrology*, 384, 46-51. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.01.005.
48. Froelich, W. y Magiera E. (2018). ISS-EWATUS Decision Support System - Overview of Achievements. In: Czarnowski I., Howlett R., Jain L. (eds.), *Intelligent Decision Technologies 2017. IDT 2017. Smart Innovation, Systems and Technologies*. Springer, Cham, 72, 197-206. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59421-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59421-7_18).

- 49.** Froelich, W. (2015). Forecasting Daily Urban Water Demand Using Dynamic Gaussian Bayesian Network. In: Kozielski, S., Mrozek, D., Kasprowski, P., Małysiak- Mrozek B. y Kostrzewa, D. (eds.), *Beyond Databases, Architectures and Structures (BDAS). Communications in Computer and Information Science*. Springer, Cham, 521, 333-342. DOI: 10.1007/978-3-319-18422-7\_30.
- 50.** Fujitsu (2016). Interstage Augmented Reality software enables Metawater to achieve a consistent quality of maintenance. Disponible en: <https://www.fujitsu.com/fts/about/resources/case-studies/cs-2016nov-metawater-co.html>.
- 51.** Gagliardi, F., Alvisi, S., Kapelan, Z. y Franchini, M. (2017). A probabilistic short-term water demand forecasting model based on the Markov Chain. *Water*, 9(507), 1-15. DOI: 10.3390/w9070507.
- 52.** Galacho, F. y Arrebola, J. (2013). Modelo de Evaluación de la Capacidad de Acogida del Territorio con SIG y Técnicas de Decisión Multicriterio Respecto a la Implantación de Edificaciones en Espacios Rurales. *Investigaciones Geográficas*, 60, 69-85. DOI: 10.14198/INGEO2013.60.04.
- 53.** García, D., Puig, V. y Quevedo, J. (2020). Prognosis of Water Quality Sensors Using Advanced Data Analytics: Application to the Barcelona Drinking Water Network. *Sensors*, 20(5), 1342. DOI: 10.3390/s20051342.
- 54.** Gautam, J., Chakrabarti, A., Agarwal, S., Singh, A., Gupta S. y Singh, J. (2020). Monitoring and forecasting water consumption and detecting leakage using an IoT system. *Water Supply*, 20(3), 1103-1113. DOI:10.2166/ws.2020.035
- 55.** Global Water Intelligence (GWI) (2018). Chief Technology Officer. Smart Water Watch: Hashing out the future of blockchain for the water industry. Disponible en: <https://www.originclear.com/hubfs/pdf/Blockchain-Article.pdf>.
- 56.** GSMA (2017). Smart Water: A Guide to Ensuring a Successful Mobile IoT Deployment. Disponible en: [https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/01/miot\\_smart\\_water2\\_02\\_18.pdf](https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/01/miot_smart_water2_02_18.pdf).
- 57.** Gonçalves, R., Soares, J. y Lima R. (2020). An IoT-Based Framework for Smart Water Supply Systems Management. *Future Internet*, 12(114), 1-17. DOI:10.3390/fi12070114.
- 58.** Hassanzadeh, A., Rasekh, A., Galelli, S., Aghashahi, M., Taormina, R., Ostfeld, A. y Banks, K. (2020). A Review of Cybersecurity Incidents in the Water Sector. *Journal of Environmental Engineering*, 146. DOI:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001686.
- 59.** Herrera, M., Torgo, L., Izquierdo, J. y Pérez-García, R. (2010). Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *Journal of Hydrology*, 387, 141-150. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.04.005.
- 60.** iAgua (2017). La realidad aumentada, un aliado en los procesos de depuración de agua. Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/espana/acciona-agua/17/07/07/realidad-aumentada-aliado-procesos-depuracion-agua>.
- 61.** International Benchmarking Network (IBNET) (2020). Country Profile UK, England and Wales. Disponible en: [https://database.ib-net.org/country\\_profile?ctry=80&years=2020,2019,2018,2017,2016&type=report&ent=country&mult=true&table=true&chart=false&chartType=column&lang=en&exch=1](https://database.ib-net.org/country_profile?ctry=80&years=2020,2019,2018,2017,2016&type=report&ent=country&mult=true&table=true&chart=false&chartType=column&lang=en&exch=1).
- 62.** Infraestructura de Datos Geoespaciales (IDE) y Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) (2020). Datos. Disponible en: <http://www.ide.cl/index.php/planificacion-y-catastro/item/1845-area-urbana-consolidada>.
- 63.** Instituto Nacional de Estadística de Chile (INE) (2020). Proyecciones de población. Disponible en: <https://www.ine.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/proyecciones-de-poblacion>.
- 64.** Instituto Nacional de Estadística (INE) (2018). Resultados Censo 2017. Disponible en: <http://resultados.censo2017.cl/>.

65. Instituto Nacional de Estadística de Chile (INE) (2017). Medio Ambiente: Informe Anual 2017. Disponible en: [https://www.ine.cl/docs/default-source/variables-basicas-ambientales/publicaciones-y-anuarios/informe-anual-de-medio-ambiente/informe-anual-de-medio-ambiente-2017.pdf?sfvrsn=43cc748f\\_3](https://www.ine.cl/docs/default-source/variables-basicas-ambientales/publicaciones-y-anuarios/informe-anual-de-medio-ambiente/informe-anual-de-medio-ambiente-2017.pdf?sfvrsn=43cc748f_3).
66. Instituto Nacional de Estadística de Chile (INE) (2014). Compendio Estadístico 2014. Disponible en: <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/11/Compendio-Estad%C3%ADstico-2014.pdf>.
67. Instituto Nacional de Normalización (INN) (2020). Normas Chilenas Aprobadas. Disponible en: <https://www.inn.cl/nch-aprobadas>.
68. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018). Glosario. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI\\_AR5\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf).
69. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf).
70. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2008). El Cambio Climático y el agua. Documento técnico VI del IPCC. Disponible en: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/climate-change-water-sp.pdf>.
71. Korea Water Resources Corporation (K-Water) (2020a). About K-water. Disponible en: [https://www.kwater.or.kr/eng/about/sub02/kwaterPage.do?s\\_mid=1099](https://www.kwater.or.kr/eng/about/sub02/kwaterPage.do?s_mid=1099).
72. Korea Water Resources Corporation (K-Water) (2020b). Smart Water management. Disponible en: [https://www.kwater.or.kr/eng/busi/water02/smartWater01Page.do?&s\\_mid=1186](https://www.kwater.or.kr/eng/busi/water02/smartWater01Page.do?&s_mid=1186).
73. Korea Water Resources Corporation (K-Water) (2020c). IWRM Projects. Disponible en: [https://www.kwater.or.kr/eng/tech/iwrm/overviewPage.do?s\\_mid=1865](https://www.kwater.or.kr/eng/tech/iwrm/overviewPage.do?s_mid=1865).
74. Korea Water Resources Corporation (K-Water) (2018). Smart Water Management: Case Study Report. Disponible en: <https://www.iwra.org/wp-content/uploads/2018/11/SWM-report-final.pdf>.
75. Lee, N. (2019). Water Policy and Institutions in the Republic of Korea. Hoja de trabajo N°985 de Asian Development Bank Institute (ADBI). Disponible en: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/517671/adbi-wp985.pdf>.
76. Li, J., Yang, X. y Sitzenfrei, R. (2020). Rethinking the Framework of Smart Water System: A Review. *Water*,12(412), 1-25. DOI:10.3390/w12020412.
77. Magiera, E. y Froelich, W. (2014). Integrated Support System for Efficient Water Usage and Resources Management (ISS-EWATUS). *Procedia Engineering*, 89, 1066-1072. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.11.226.
78. Mendoza, J. y Orozco, M. (2014). Análisis de la Vulnerabilidad Biofísica a los Riesgos por Inundación en la Zona Metropolitana de Toluca, México. *Revista Luna Azul*, 38, 86-104. ISSN 1909-2474.
79. Merriam Webster (2020). Sensor. Disponible en: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/sensor>.
80. Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2017). Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. Disponible en: [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan\\_nacional\\_climatico\\_2017\\_2.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf).

- 81.** Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2012). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025. Disponible en: [https://www.mop.cl/Documents/ENRH\\_2013\\_OK.pdf](https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf).
- 82.** Ministerio de Obras Públicas (MOP) (2011). Variaciones Recientes de Glaciares en Chile, Según Principales Zonas Glaciológicas. Informe Final. Disponible en: <https://snia.mop.gob.cl/sad/GLA5360.pdf>.
- 83.** Mirauda, D., Erra, U., Agatiello, R. y Cerverizzo, M. (2017). Applications of Mobile Augmented Reality to Water Resources Management. *Water*, 9(699), 1-13. DOI: 10.3390/w9090699.
- 84.** Moreno, J. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico: Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. *RECT@ Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 1, 28-77.
- 85.** Núñez, F., Langarica, S., Díaz, P., Torres, M. y Salas, J. (2020). Neural network-based model predictive control of a paste thickener over an industrial internet platform. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(4), 2859-2867. DOI: 10.1109/tii.2019.2953275.
- 86.** Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior (ONEMI) (2016). Política Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Disponible en: <https://www.igrd.cl/mycontents/normas/Onemi%20Plan%20Estrategico%20Nacional.pdf>.
- 87.** Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2020). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Disponible en: <http://www.onu.cl/es/sample-page/odm-en-chile/>.
- 88.** Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2015). Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030. Disponible en: [https://www.unisdr.org/files/43291\\_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf](https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf).
- 89.** Organización Mundial de la Salud (OMS) (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/jmp-report-2019/en/](https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/jmp-report-2019/en/).
- 90.** Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) (2017). Brechas y Estándares de Gobernanza de la Infraestructura Pública en Chile. Disponible en: [https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile/la-gobernanza-de-la-infraestructura-de-agua-en-chile\\_9789264286948-7-es](https://www.oecd-ilibrary.org/governance/brechas-y-estandares-de-gobernanza-de-la-infraestructura-publica-en-chile/la-gobernanza-de-la-infraestructura-de-agua-en-chile_9789264286948-7-es).
- 91.** Orrego J. (2002). El Estado de las Aguas Terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas. Disponible en: <https://www.terram.cl/wp-content/uploads/2016/08/rpp12-Estado-de-las-aguas-terrestres-en-Chile-Cursos-y-aguas-subterranas.pdf>.
- 92.** Padian, G., Narayanasamy, G. y Sundaram, S. (2020). Next-gen industrial water pollution control: Blockchain and IoT for waste water management. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/about-deloitte/blockchain-iot-wastewater-management.pdf>.
- 93.** Pedersen, A., Borup, M., Brink-Kjær, A., Christiansen, L. y Mikkelsen, P. (2021). Living and Prototyping Digital Twins for Urban Water Systems: Towards Multi-Purpose Value Creation Using Models and Sensors. *Water*, 13(592). <https://doi.org/10.3390/w13050592>.
- 94.** Peña-Guzmán, C., Melgarejo, J. y Prats, D. (2016). Forecasting water demand in residential, commercial, and industrial zones in Bogotá, Colombia, using Least-Squares Support Vector Machines. *Mathematical Problems in Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2016/5712347>.
- 95.** Pérez-Rodríguez, F., Vargas-Larreta B., Aguirre-Calderón O., Corral-Rivas J. y Rojo-Alboreca, A. (2012). Proceso analítico jerárquico para seleccionar métodos de manejo forestal en Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(15), 55-72. ISSN 2007-1132.

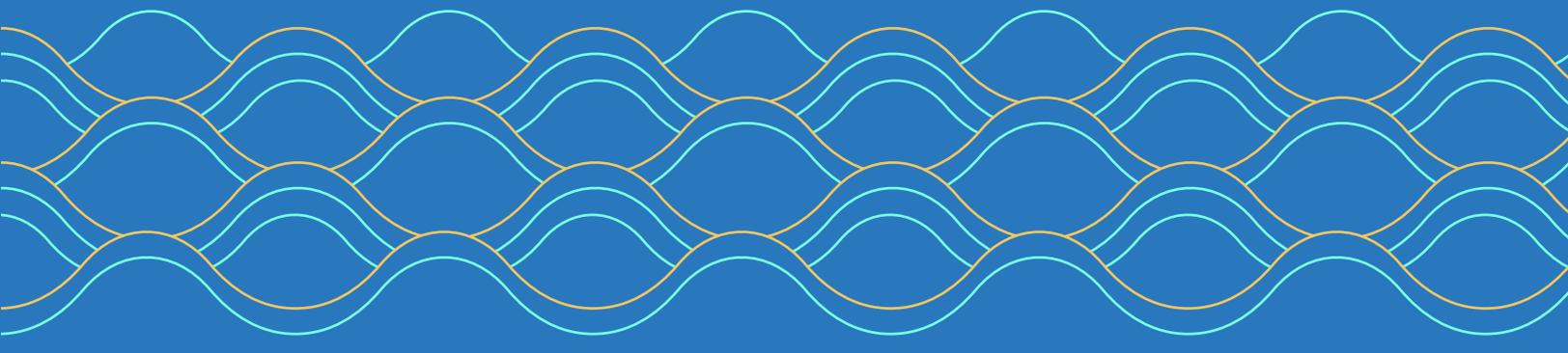
- 96.** Pérez, R., Puig, V., Pascual, J., Quevedo, J., Landeros, E. y Peralta, A. (2011). Methodology for leakage isolation using pressure sensitivity analysis in water distribution networks. *Control Engineering Practice*, 19(10), 1157-1167. DOI: 10.1016/j.conengprac.2011.06.004.
- 97.** Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC), Centro de Cambio Global Universidad Católica (CCG-UC), Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales (CIGIDEN), Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IH Cantabria) y Universidad de Valparaíso (UV) (2013). Marco Estratégico para la Adaptación de la Infraestructura al Cambio Climático. Disponible en: [https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento\\_32\\_Marco-Estrategico-Adaptacion-Infraestructura-CC.pdf](https://cambioglobal.uc.cl/images/proyectos/Documento_32_Marco-Estrategico-Adaptacion-Infraestructura-CC.pdf).
- 98.** Puig, V., Ocampo-Martínez, C., Pérez, R., Cembrano, G., Quevedo, J. y Escobet, T. (2017). *Real-time Monitoring and Operational Control of Drinking-Water Systems*. Springer International Publishing.
- 99.** Pujada, P., Pardo-Bosch, F., Aguado-Renter, A., Aguado, A. (2017). MIVES multi-criteria approach for the evaluation, prioritization, and selection of public investment projects. A case study in the city of Barcelona. *Land Use Policy*, 64, 29-37. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.02.014.
- 100.** Qiu, X., Zhang, L., Ren, Y., Suganthan, P. y Amaratunga, G. (2014). Ensemble deep learning for regression and time series forecasting. *Symposium on Computational Intelligence in Ensemble Learning (CIEL)*, 1-6. DOI: 10.1109/CIEL.2014.7015739.
- 101.** Rasekh, A., Hassanzadeh, A., Mulchandani, S., Modi, S. y Banks, M. (2016). Smart Water Networks and Cyber Security. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 142(7). DOI:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000646.
- 102.** Saddik, A. (2018). Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies. *IEEE Computer Society*, 25(2): 87-92. DOI:10.1109/mmul.2018.023121167.
- 103.** Samborska, K., Ulańczyk, R., Yang, S., Laspidou, C., Mellios, N., Kofinas, D., Kokkinos, K., Froelich, W., Sarris, I. y Podsiadło, Ł. (2015a). Integrated Support System for Efficient Water Usage and Resources Management, D2.2.
- 104.** Samborska, K., Laspidou, C., Ulańczyk, R., Mellios, N., Kofinas, D., Kokkinos, K., Sarris, I., Froelich, W. y Podsiadło, Ł. (2015b). Integrated Support System for Efficient Water Usage and Resources Management, D2.1.
- 105.** Sensus (2020). Water 20/20: Bringing Smart Water Networks into Focus. Disponible en: <https://sensus.com/wp-content/uploads/Sensus-Smart-Water-20-20-8.5-X-11-White-Paper.pdf>.
- 106.** Shabri, A. y Samsudin, R. (2015). Empirical mode decomposition–least squares support vector machine based for water demand forecasting. *International Journal of Advances in Soft Computing and its Application*, 7(2), 38-53. ISSN 2074-2827.
- 107.** Shanahan, R. y Kingsford, A. (2021). Technology & Water: How 5G and IoT Can Update Our Water Infrastructure. Disponible en: <https://www.verizon.com/about/news/technology-water-how-5g-and-iot-can-update-our-water-infrastructure>.
- 108.** Smart City Hub (2021). Smart water networks detect water usage and quality. Disponible: <https://smartcityhub.com/technology-innovation/smart-water-networks-detect-water-usage-and-quality/>.
- 109.** Smart Water Magazine (2021). How 5G can help to manage water service infrastructure. Disponible en: <https://smartwatermagazine.com/news/idrica/how-5g-can-help-manage-water-service-infrastructure>.

- 110.** Smartex (2016). Glossary of terms and expressions used in connection with The Internet of Things with a final section of related 'Standards'. Disponible en: <http://www.smartex.com/wp-content/uploads/2016/04/Internet-of-Things-Glossary-of-Terms-V8-draft.pdf>.
- 111.** Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2020a). La SISS. Disponible en: <https://www.siss.gob.cl/586/w3-propertyname-723.html>.
- 112.** Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2020b). Plan Estratégico Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres en el Sector Sanitario 2020-2030. Disponible en: [https://www.siss.gob.cl/586/articles-9353\\_Plan\\_Estrategico.pdf](https://www.siss.gob.cl/586/articles-9353_Plan_Estrategico.pdf).
- 113.** Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2020c). Sanitarias caen en Percepción de los Usuarios. Disponible en: <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-17884.html>.
- 114.** Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2020d). Informe de Gestión del Sector Sanitario: 2019. Disponible en: [https://www.siss.gob.cl/586/articles-17955\\_recurso\\_1.pdf](https://www.siss.gob.cl/586/articles-17955_recurso_1.pdf).
- 115.** Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2020e). Informe de Coberturas Sanitarias 2019. Disponible en: [https://www.siss.gob.cl/586/articles-17972\\_recurso\\_1.pdf](https://www.siss.gob.cl/586/articles-17972_recurso_1.pdf).
- 116.** Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2017). Informe de Gestión del Sector Sanitario: 2016. Disponible en: [https://www.siss.gob.cl/586/articles-16848\\_recurso\\_1.pdf](https://www.siss.gob.cl/586/articles-16848_recurso_1.pdf).
- 117.** Tiwari, M., Adamowski, J. y Adamowski, K. (2016). Water demand forecasting using extreme learning machines. *Journal of Water and Land Development*, 28, 37-52. DOI: 10.1515/jwld-2016-0004.
- 118.** Unión Europea (UE) (2016). Directives. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L1148&rid=1>.
- 119.** Universidad de Chile (UdeC) (2019). Informe País: Estado del medio ambiente en Chile 2018. Maval Impresores.
- 120.** Valverde-Pérez, B., Johnson, B., Wärrff, C., Lumley, D., Torfs E., Nopens, I. y Townley, L. (2021). Digital Water: Operational digital twins in the urban water sector: case studies. Disponible en: <https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2021/03/Digital-Twins.pdf>.
- 121.** Water Service Regulation Authority for England and Wales (OFWAT) (2020). Disponible en: <https://www.ofwat.gov.uk/>.
- 122.** Water World (2021). Testing augmented reality to increase public engagement in water reuse. Disponible en: <https://www.waterworld.com/wastewater/reuse-recycling/article/14199961/testing-augmented-reality-to-increase-public-engagement-in-water-reuse>.
- 123.** World Resources Institute (WRI) (2015). Ranking the world's most water-stressed countries in 2040. Disponible en: <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040>.
- 124.** Yang, L., Yangb, S., Magierac, E., Froelichc, W., Jachc, T. y Laspidou, C. (2017). Domestic water consumption monitoring and behaviour intervention by employing the internet of things technologies. Elsevier. *Procedia Computer Science*, 111, 367-375. DOI: 10.1016/j.procs.2017.06.036.
- 125.** ZDnet. (2020). Israel government tells water treatment companies to change passwords. Disponible en: <https://www.zdnet.com/article/israel-says-hackers-are-targeting-its-water-supply-and-treatment-utilities/>.



ANEXOS

---



## ANEXO A. ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO Y TERRITORIAL

El objetivo de realizar el análisis de riesgo climático y territorial es determinar las principales amenazas, efectos que estas producen y los impactos sobre el sector sanitario. Para lograr esto, lo primero que se hizo fue analizar e identificar las amenazas, las cuales principalmente son: el cambio climático, el desarrollo urbano y el desarrollo económico. Luego, se determinaron los efectos que producen cada una de estas amenazas y que de alguna forma ponen en riesgo los servicios sanitarios. Para el cambio climático se identificaron siete efectos: derretimiento de la masa de hielo, inundaciones fluviales y costeras, sequías, vientos fuertes, olas de calor, precipitaciones intensas y eventos extremos. Para el caso del desarrollo urbano, los efectos considerados fueron dos: aumento de población urbana y cambio del uso de suelo; y para el desarrollo económico se consideró el aumento del consumo de agua.

Una vez identificados los efectos, se verificaron los impactos que estos tienen sobre los servicios sanitarios, ya sea en la infraestructura sanitaria y/o en los recursos hídricos. Por su parte, los recursos hídricos se pueden ver afectados tanto en la calidad como en la cantidad, disminuyendo o aumentando este recurso.

Finalmente, se definieron los criterios a evaluar para cada efecto, tal y como se muestra en la Tabla A.1. Por ejemplo, para el caso del efecto “derretimiento de las masas de hielo”, se consideraron los criterios: áreas de glaciares (km<sup>2</sup>) y variación del área (km<sup>2</sup>/año).

Tabla A.1. Amenazas, efectos, impacto en el sector sanitario y criterio a evaluar por cada efecto.

Amenazas	Efectos	Impactos en el recurso hídrico			Impacto en la infraestructura sanitaria	Criterio a evaluar
		Deterioro calidad	Menor cantidad	Mayor cantidad		
Cambio climático	Derretimiento de las masas de hielo		X			Área de glaciares (km <sup>2</sup> ) y variación del área (km <sup>2</sup> /año)
	Inundaciones fluviales y costeras	X	X		X	Cantidad
	Sequías	X	X			Variación precipitaciones (%) y cantidad y superficie (km <sup>2</sup> ) con declaraciones de escasez hídrica
	Vientos fuertes				X	Cantidad
	Olas de calor	X	X			Cantidad
	Precipitaciones intensas	X		X		Cantidad
	Eventos extremos	X	X	X	X	Cantidad
Desarrollo urbano	Aumento población urbana		X			Población actual (habitantes) y tasa de crecimiento poblacional (%)
	Cambio del uso de suelo		X			Área urbana (ha) y tasa de variación (%)
Desarrollo económico	Aumento consumo de agua	X	X			Consumo total (MMm <sup>3</sup> ) y tasa de variación (%)

## ANEXO B. EXPANSIÓN TERRITORIAL DEL SSAT

El objetivo de la expansión territorial es determinar la “prioridad territorial” que tiene cada región para sugerir en base a esto la implementación del SSAT, considerando las amenazas del cambio climático, desarrollo urbano y desarrollo económico, identificadas en el Anexo A.

Luego de identificadas las amenazas, los efectos y los criterios en el Anexo A, se procedió a priorizar cada región, según el “criterio”. Por ejemplo, para el criterio “áreas de glaciares”, se le asignó el valor de 1 a la región que resultó con la mayor área (Magallanes), el número 2 (Aysén) a la que ocupó el segundo lugar y así hasta asignarle un “número de prioridad” a cada región, tal y como se muestra en la tabla B.1.

Tabla B.1. Ejemplo de la priorización realizada a todas las regiones para el criterio “área de glaciares”.

Región	Criterio: área de glaciares (km <sup>2</sup> )	Número de prioridad
Arica y Parinacota	12,2	15
Tarapacá	24,6	13
Antofagasta	7,2	16
Atacama	89,3	7
Coquimbo	46,9	9
Valparaíso	135,8	6
Metropolitana	388,3	4
O'Higgins	292,3	5
Maule	38,2	11
Ñuble	16,5	14
Biobío	29,3	12
La Araucanía	53,3	8
Los Ríos	42,6	10
Los Lagos	785,5	3
Aysén	10.357,0	2
Magallanes	11.322,0	1

Este procedimiento se realizó para todos los criterios, y en el caso que dos o más regiones cuenten con el mismo valor para un criterio dado, se le asignó el mismo número de prioridad. El resultado de esta priorización se muestra en la Tabla B.2.

Como se aprecia en la Tabla B.2, cada región tiene distinto número de prioridad, según el criterio evaluado. Para poder determinar la “priorización territorial” de cada región y así establecer la expansión territorial más adecuada del SSAT, es preciso asignar distinto “peso” a cada criterio. Al multiplicar el número de prioridad que se le asigna a una región y criterio dado, por el peso de cada criterio, y sumar estos resultados por región, se obtiene la prioridad territorial de cada una.

Para esta determinación del peso, se realizó un proceso de análisis jerárquico (PAJ), el cual permitió proporcionar distinto peso a los criterios, según la importancia que cada criterio tiene sobre el sector sanitario. El PAJ es un método que ayuda a la toma de decisiones, permitiendo resolver problemas multicriterio. Se basa en la comparación de elementos de a pares, a través de una escala numérica, como se muestra en la Tabla B.3 (Averna et al., 2017; Galacho y Arrebola, 2013; Mendoza y Orozco, 2014; Moreno, 2002; Pérez-Rodríguez et al., 2012; Pujada et al., 2017).

**Tabla B.2.** Resultado de la priorización regional para todos los criterios. Cada valor indica el número de prioridad de la región para un criterio determinado.

Amenazas:	Cambio climático										Desarrollo urbano				Desarrollo económico	
	Derretimiento de las masas de hielo		Inundaciones	Sequías			Vientos fuertes	Olas de calor	Precip. intensas	Eventos extremos	Aumento población en zonas urbanas		Cambio del uso de suelo		Aumento consumo de agua	
Criterio:	Área de glaciares	Variación área	Cant.	Variación precipitaciones	Cant. declar. escasez	Superf. decretos escasez	Cant.	Cant.	Cant.	Cant.	Población actual	Tasa de crec. poblacional	Área urbana	Tasa de variación	Cant.	Tasa de variación
Árica y Parinacota	15	8	3	14	9	9	3	10	7	6	14	7	15	10	12	14
Tarapacá	13	10	2	11	9	9	3	13	4	5	11	1	13	7	13	12
Antofagasta	16	15	1	15	9	9	1	5	2	5	9	4	9	12	8	15
Atacama	7	11	3	1	4	2	2	13	6	7	13	14	12	3	9	3
Coquímbo	9	12	2	13	2	1	3	3	4	7	7	2	7	6	6	4
Valparaíso	6	14	4	8	1	5	1	2	2	7	2	9	2	16	5	10
Metropolitana	4	9	4	3	5	7	1	4	1	4	1	8	1	13	3	11
O'Higgins	5	13	6	5	7	8	3	12	5	6	5	5	4	1	2	6
Maule	11	4	6	2	3	4	3	1	3	5	4	3	5	4	1	13
Ñuble	14	2	6	4	9	9	3	6	6	6	10	10	10	5	4	8
Biobío	12	5	6	3	6	6	2	11	6	2	3	16	3	15	4	8
La Araucanía	8	6	5	6	9	9	3	7	6	3	6	11	6	11	7	9
Los Ríos	10	7	6	10	9	9	3	8	8	6	12	12	11	8	11	1
Los Lagos	3	3	5	9	9	9	2	8	3	1	8	6	8	2	10	2
Aysén	2	1	5	7	8	3	3	9	5	6	16	15	16	9	15	7
Magallanes	1	3	6	12	9	9	1	14	8	5	15	13	14	14	14	5

Tabla B.3. Escala de comparación del PAJ.

Escala verbal	Escala numérica
Igual importancia	1
Ligeramente más importante	3
Más importante	5
Mucho más importante	7
Muchísimo más importante	9

La comparación de criterios se realiza en una “matriz de comparaciones pareadas”, que debe cumplir con los siguientes elementos de robustez matemática: reciprocidad, homogeneidad y ratio consistencia (RC). La reciprocidad indica que si  $a_{ij} = X$ , entonces  $a_{ji} = 1/X$  con  $1/9 \leq X \leq 9$ . La homogeneidad se refiere a cuando dos criterios son considerados igualmente importantes; entonces el valor es de 1, y el ratio de consistencia permite evaluar el grado de coherencia de la matriz.

Para llevar a cabo el PAJ, se realizaron los siguientes pasos:

1. Se construyó la matriz de comparaciones pareadas, la cual resultó de 16x16, ya que se definieron dieciséis criterios (Tabla B.4).
2. Se situaron los criterios en la segunda columna de la matriz y se repiten los mismos en la segunda fila (véase la Tabla B.4).
3. Se comparó la importancia del criterio 1 (área de glaciares) con el criterio 1 (área de glaciares), según escala de la Tabla B.3; en ese caso el valor es de 1, ya que es el mismo criterio.

4. Se avanzó completando la matriz, comparando el criterio 1 (área de glaciares) con el criterio 2 (variación área); esto hasta terminar de contrastar el criterio 1 con todos los criterios en la fila 3, de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{pmatrix}$$

El resultado de las comparaciones pareadas es una matriz cuadrada (Tabla B.4),  $A = (a_{ij})$ , positiva y recíproca ( $a_{ij} \times a_{ji} = 1$ ), cuyos elementos,  $a_{ij}$ , son una estimación de las verdaderas razones ( $w_i/w_j$ ):

Tabla B.4. Matriz de comparaciones pareadas.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		Área de glaciares	Variación área	Cant.	Variación precipitaciones	Cant. declar. escasez	Superf. decretos escasez	Cant.	Cant.	Cant.	Cant.	Población actual	Tasa de crec. poblacional	Área urbana	Tasa de variación	Cant.	Tasa de variación
1	Área de glaciares	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	9,00	7,00	0,33	5,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
2	Variación área	1,00	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	9,00	7,00	0,33	5,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
3	Cantidad	5,00	5,00	1,00	0,20	0,20	0,20	9,00	9,00	3,00	7,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
4	Variación precipitaciones	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	9,00	5,00	9,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
5	Cant. declar. escasez	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	9,00	5,00	9,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
6	Superf. decretos escasez	5,00	5,00	5,00	1,00	1,00	1,00	9,00	9,00	5,00	9,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
7	Cantidad	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	1,00	0,20	0,11	0,33	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
8	Cantidad	0,14	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11	5,00	1,00	0,14	3,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
9	Cantidad	3,00	3,00	0,33	0,20	0,20	0,20	9,00	7,00	1,00	7,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
10	Cantidad	0,20	0,20	0,14	0,11	0,11	0,11	3,00	0,33	0,14	1,00	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
11	Población actual	3,00	3,00	0,33	0,14	0,14	0,14	9,00	7,00	0,20	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	Tasa de crec. poblacional	3,00	3,00	0,33	0,14	0,14	0,14	9,00	7,00	0,20	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
13	Área urbana	3,00	3,00	0,33	0,14	0,14	0,14	9,00	7,00	0,20	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14	Tasa de variación	3,00	3,00	0,33	0,14	0,14	0,14	9,00	7,00	0,20	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	Consumo total	3,00	3,00	0,33	0,14	0,14	0,14	9,00	7,00	0,20	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
16	Tasa de variación	3,00	3,00	0,33	0,14	0,14	0,14	9,00	7,00	0,20	7,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

5. Se construyó el “vector propio” de la matriz, el cual indica el peso de cada criterio (véase la Tabla B.5).

6. Se multiplicó el número de prioridad, indicado en la Tabla B.2, por el peso del criterio (vector propio) de la Tabla B.5, para obtener la prioridad territorial para cada región. Por ejemplo: la Región de Arica y Parinacota tiene el número de

prioridad 15 para el criterio área de glaciares (Tabla B.2). Ese valor se multiplica por el peso de dicho criterio, que es 2,38% (Tabla B.5) y se obtiene el valor de 0,357. Esto se hace con esta región y para los dieciséis criterios; luego se suma cada valor obtenido, que para la Región de Arica y Parinacota da 9,94, como se muestra a continuación:

Tabla B.5. Vector propio, el cual indica el peso de cada criterio..

Amenazas	Efecto	Criterios	Vector propio (Peso)
Cambio climático	Derretimiento de las masas de hielo	Área de glaciares	2,38%
		Variación área	2,38%
	Inundaciones	Cantidad	8,30%
	Sequías	Variación precipitaciones	18,06%
		Cantidad de declaraciones de escasez hídrica	18,06%
		Superficie con declaraciones de escasez hídrica	18,06%
	Vientos fuertes	Cantidad	0,64%
	Olas de calor	Cantidad	1,00%
	Precipitaciones intensas	Cantidad	8,75%
	Eventos extremos	Cantidad	0,84%
Desarrollo urbano	Aumento población urbana	Población actual	3,59%
		Tasa de crecimiento poblacional	3,59%
	Cambio del uso de suelo	Área urbana	3,59%
		Tasa de variación	3,59%
Desarrollo económico	Actividades económicas	Consumo total	3,59%
		Tasa de variación	3,59%

$$\text{Peso} = 15 \times 2,38\% + 8 \times 2,38\% + 3 \times 8,30\% + 14 \times 18,06\% + 9 \times 18,06\% + 9 \times 18,06\% + 3 \times 0,64\% + 10 \times 1,00\% + 7 \times 8,75\% + 6 \times 0,84\% + 14 \times 3,59\% + 7 \times 3,59\% + 15 \times 3,59\% + 10 \times 3,59\% + 12 \times 3,59\% + 14 \times 3,59\%$$

Peso = 9,94

7. Finalmente, se calculó la prioridad territorial para todas las regiones. El número más bajo (1) corresponde a la región que tiene la mayor prioridad, tal y como se indica en la Tabla B.6.

**Tabla B.6.** Número de prioridad final para cada región y prioridad territorial sugerida para la implementación del SSAT, según el proceso de análisis jerárquico.

Región	Número de prioridad final	Prioridad territorial
Arica y Parinacota	9,94	16
Tarapacá	8,54	12
Antofagasta	9,10	14
Atacama	4,61	2
Coquimbo	5,16	4
Valparaíso	5,18	5
Metropolitana	4,85	3
O'Higgins	5,99	6
Maule	3,89	1
Ñuble	6,91	8
Biobío	6,03	7
La Araucanía	7,52	11
Los Ríos	8,78	13
Los Lagos	7,09	9
Aysén	7,13	10
Magallanes	9,59	15

Una vez realizado el PAJ, se llevó a cabo un estudio de sensibilidad, mediante la variación del peso de cada criterio, para obtener diferentes números de prioridad final, de acuerdo con distintos juicios, y el resultado fue siempre muy similar, tal y como se muestra en la Tabla B.7.

Tabla B.7. Estudio de sensibilidad

Región	Número de prioridad final (1)	Prioridad territorial (1)	Número de prioridad final (3)	Prioridad territorial (3)	Número de prioridad final (4)	Prioridad territorial (4)
Arica y Parinacota	9,75	16	8,72	16	10,97	16
Tarapacá	8,50	14	7,67	14	9,47	13
Antofagasta	8,44	13	6,90	10	9,27	12
Atacama	6,88	8	6,93	11	7,36	9
Coquimbo	5,50	4	5,08	4	5,37	3
Valparaíso	5,88	5	5,27	5	6,58	7
Metropolitana	4,94	2	4,40	2	5,65	6
O'Higgins	5,81	6	5,92	6	4,92	1
Maule	4,50	1	4,35	1	5,07	2
Ñuble	6,93	7	6,18	7	5,75	5
Biobío	6,75	9	6,50	9	7,05	8
La Araucanía	7,00	10	6,40	8	7,57	10
Los Ríos	8,19	12	7,63	13	8,12	11
Los Lagos	5,50	3	4,90	3	5,73	4
Aysén	7,94	11	7,45	12	9,97	14
Magallanes	8,94	15	8,35	15	10,10	15

La “prioridad territorial (1)” se obtuvo cuando cada criterio tiene el mismo peso; por su parte, “prioridad territorial (3)” es cuando se consideró que los efectos tienen el mismo peso, y “prioridad territorial (4)” corresponde a cuando las amenazas tienen el mismo peso.

## ANEXO C. TABLAS

Tabla C.1. Empresas concesionarias de agua potable, total de clientes, cobertura de agua potable urbana y porcentaje de clientes a nivel nacional. Fuente: SISS, 2020e.

Empresa sanitaria	Región	Total clientes	% Cobertura AP	% de Clientes a nivel nacional
Aguas del Altiplano S.A.	Arica y Parinacota	65.424	100,00%	1,17%
	Tarapacá	101.558	99,90%	1,81%
Aguas Antofagasta S.A.	Antofagasta	179.291	100,00%	3,19%
Aguas Nuevas de Atacama	Atacama	95.845	99,80%	1,71%
Aguas del Valle	Coquimbo	246.464	99,90%	4,39%
Empresa de Servicios Sanitarios San Isidro S.A.	Coquimbo	1.170	100,00%	0,02%
	Valparaíso	1.339	100,00%	0,02%
	Metropolitana	7.623	100,00%	0,14%
	Araucanía	15.184	100,00%	0,27%
	Los Lagos	1.346	100,00%	0,02%
Esval S.A.	Valparaíso	659.082	99,50%	11,74%
Cooperativa de Agua Potable Santo Domingo Ltda.	Valparaíso	5.430	100,00%	0,10%
Aguas Andinas S.A.	Metropolitana	1.991.312	100,00%	35,46%
Aguas Cordillera	Metropolitana	172.346	100,00%	3,07%
Aguas Manquehue	Metropolitana	15.371	100,00%	0,27%
Comunidad Servicios Remodelación San Borja	Metropolitana	3.773	100,00%	0,07%
Aguas Santiago Poniente S.A.	Metropolitana	3.620	100,00%	0,06%
Empresa de Agua Potable Melipilla Norte S.A.	Metropolitana	6.040	100,00%	0,11%
Empresa de Servicios Sanitarios Lo Prado S.A.	Metropolitana	3.168	100,00%	0,06%
Novaguas S.A.	Metropolitana	4.829	100,00%	0,09%
Sembcorp Aguas Chacabuco S.A.	Metropolitana	23.849	100,00%	0,42%
Sembcorp Aguas Lampa S.A.	Metropolitana	8.001	100,00%	0,14%
Sembcorp Aguas Santiago S.A.	Metropolitana	5.589	100,00%	0,10%
Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Maipú	Metropolitana	201.519	100,00%	3,59%
Servicio Sanitarios Larapinta S.A.	Metropolitana	4.336	100,00%	0,08%
Essbio S.A.	O'Higgins	254.093	100,00%	4,53%
	Ñuble	114.240	100,00%	2,03%
	Biobío	474.707	100,00%	8,45%
Aguas Nuevo Sur Maule S.A.	Maule	285.963	100,00%	5,09%
Aguas San Pedro S.A.	Metropolitana	4.029	100,00%	0,07%
	Maule	256	100,00%	0,00%
	Ñuble	2.211	100,00%	0,04%
	Biobío	22.334	100,00%	0,40%
	Los Lagos	1.071	100,00%	0,02%
Aguas Araucanía	Araucanía	240.481	99,90%	4,28%
Aguas Decima S.A.	Los Ríos	47.761	100,00%	0,85%
Essal	Los Ríos	36.543	100,00%	0,65%
	Los Lagos	199.431	100,00%	3,55%

Aguas Patagonia de Aysén S.A.	Aysén	28.940	100,00%	0,52%
Aguas Magallanes S.A.	Magallanes	55.436	100,00%	0,99%
Aguas La Serena S.A.	Coquimbo	1.473	100,00%	0,03%
Empresa de Servicios Totorillo S.A.	Coquimbo	305	100,00%	0,01%
Asociación de Vecinos Población Mirasol de Algarrobo	Valparaíso	583	99,50%	0,01%
Comunidad Balneario Brisas de Mirasol	Valparaíso	1.803	98,80%	0,03%
Corporación Balneario Algarrobo Norte	Valparaíso	620	96,80%	0,01%
Sasipa	Valparaíso	3.212	100,00%	0,06%
Inmobiliaria Nortemar	Valparaíso	1	100,00%	0,00%
Coop. de Servicio de Abastecimiento de AP y Alcantarillado de la Comunidad de Sagrada Familia	Maule	1.016	100,00%	0,02%
Coop. de Servicio de Abastecimiento de AP y Saneamiento Ambiental de la Comunidad de Maule Ltda.	Maule	2.901	100,00%	0,05%
Coop. de Servicio de Abastecimiento de AP y Saneamiento Ambiental de la Comunidad de Sarmiento Ltda.	Maule	2.816	100,00%	0,05%
Aguas de Colina S.A.	Metropolitana	1.321	100,00%	0,02%
Aguas Santiago Norte S.A.	Metropolitana	228	100,00%	0,00%
Alberto Planella Ortiz	Metropolitana	473	100,00%	0,01%
BCC S.A.	Metropolitana	3.398	100,00%	0,06%
Empresa de Agua Potable El Colorado S.A.	Metropolitana	69	100,00%	0,00%
Empresa de Agua Potable Izarra de lo Aguirre S.A.	Metropolitana	952	100,00%	0,02%
Empresa de Agua Potable Lo Aguirre S.A.	Metropolitana	752	100,00%	0,01%
Empresa Particular de Agua Potable y Alcantarillado La Leonera S.A.	Metropolitana	526	100,00%	0,01%
Explotaciones Sanitarias S.A.	Metropolitana	765	100,00%	0,01%
Huertos Familiares S.A.	Metropolitana	787	100,00%	0,01%

**Tabla C.2. Empresas concesionarias de agua potable, total de clientes, cobertura de agua potable urbana y porcentaje de clientes a nivel nacional. Fuente: SISS, 2020e.**

N°	Código	Nombre del protocolo	Frecuencia
1	PR012001	Nueva Base de Infraestructura	Anual
2	PR013001	Indicadores de calidad de servicio	Mensual
3	PR014001	Indicadores de calidad de agua potable	Mensual
4	PR018001	Captaciones de agua potable	Mensual
5	PR018002	Calidad de agua cruda	Semestral
6	PR019001	Control de facturación mensual	Mensual
7	PR027001	Sistema de Facturación Clientes y Coberturas SIFAC II	Mensual
8	PR035001	Sectorización de redes	Anual
9	PR006001*	Aportes de terceros, obras generales	Trimestral
10	PR006002	Aportes de terceros, redes de distribución	Trimestral
11	PR006003	Aportes de terceros, redes de recolección	Trimestral
12	PR028001	Aportes financieros reembolsables	Trimestral
13	PR003001*	Arranques de agua potable	Anual
14	PR030001	Autocontrol de facturación y cobranza	Mensual
15	PR044001	Autocontrol de fuentes	Semestral, trimestral y anual
16	PR029001	Autocontrol de la medición	Anual
17	PR032001	Autocontrol de planes de desarrollo	Anual
18	PR033001	Balance oferta demanda (BOD)	Anual
19	PR045001	Bienes Afecto a la Concesión	Anual
20	PR001001*	Clientes e inmuebles según tipo	Semestral
21	PR008001*	Coberturas de tratamiento	Anual
22	PR023001	Control de plantas de tratamiento de A.S.	Anual
23	PR020001	Costos y gastos de concesionarias (Plan de cuentas)	Anual
24	PRO34001	Detalle de funciones tercerizadas	Anual
25	PR015001	Dirección legal y oficinas comerciales	Semestral
26	PR036001	Estado de grifos	Semestral y anual
27	PR024001	Estados Financieros (Formatos IFRS Sociedades Anónimas y EEFF Cooperativas o Municipalidades)	Trimestral
28	PR010001	Estructura de propiedad de las concesionarias sanitarias	Trimestral
29	PR005001*	Facturación anual	Anual
30	PR005002*	Facturación mensual	Mensual
31	PR037001	Guía de Planes de Emergencia para Empresas Sanitarias	Semestral
32	PR038001	Información de actuaciones con personas relacionadas	Anual
33	PR039001	Informe APR	Anual
34	PR040001	Informe proceso de lecturas de medidores	Mensual
35	PR046001	Instalaciones Prioritarias de Energía	Anual
36	PR009002*	Inversiones proyectadas	Anual
37	PR009001*	Inversiones realizadas	Anual
38	PR025001	Largo de redes y número de empleados	Anual
39	PR041001	Licitaciones	Anual

40	PR042001	Mantenimiento preventivo de redes de alcantarillado	Anual y trimestral
41	PR002001*	Medidores de agua potable	Anual
42	PR031001	Morosidad de deuda	Trimestral
43	PR022001	Prestaciones no reguladas	Semestral
44	PR017001	PROCOF	Mensual
45	PR011001*	Producción de agua potable	Anual
46	PR43001	Remuneraciones	Anual
47	PR004001*	Uniones domiciliarias	Anual
48	PR047001	Cronograma de Obras Plan de Desarrollo	Anual
49	PR048001	Plan de Acción por Cortes Reiterados	Semestral

(\*): Protocolos suspendidos.

Tabla C.3. Catastro de instrumentos y sensores para sistemas de agua potable disponibles en el mercado.

Fabricante	Nombre del instrumento	Parámetros											Protocolos de comunicación					
		Turbiedad	Color	Cloruro	pH	Nitrato	Nitrito	Nivel	SDT	Fluoruro	Presión	Alámbricos				Inalámbricos		
												Estándares Ethernet	Bus de campo	Serial	Loop de corriente	Wi-Fi	LPWAN/LoWPAN	Celular
S::can	spectro::lyser V3 + con::cube V3	X	X	X								X	X	X	X	X		
	ammo::lyser pro + con::cube V3				X							X	X	X	X	X		
	ammo::lyser pro + con::cube V3								X			X	X	X	X	X		
	chlori::lyser + con::cube V3			X								X	X	X	X	X		
	pH::lyser + con::cube V3				X							X	X	X	X	X		
YSI	ProDSS Handheld Multiparameter Sampling Instrument	X		X	X	X		X	X					X				
	IQ SensorNet 2020 3G Controller + IQ SensorNet NiCaVis Sensor					X	X					X	X					
	IQ SensorNet 2020 3G Controller + IQ SensorNet VisoTurb® Sensor	X										X	X					
	IQ SensorNet 2020 3G Controller + IQ SensorNet VARIION® Plus Sensor			X		X						X	X					
	WL16 Water Level Logger										X			X			X	
Proteus	Proteus Multi-parameter Water Quality Sensor	X		X	X	X		X		X				X			X	
Real Tech Inc	Real Controller Pro + Real Turbidity Sensor	X											X	X				
	Real Controller Pro + Real pH Sensor				X								X	X				



## ANEXO D. GRÁFICOS

Gráfico D.1. Evolución de la población y tasa de crecimiento intercensal, Censos 1952-2017. Fuente: INE, 2018.

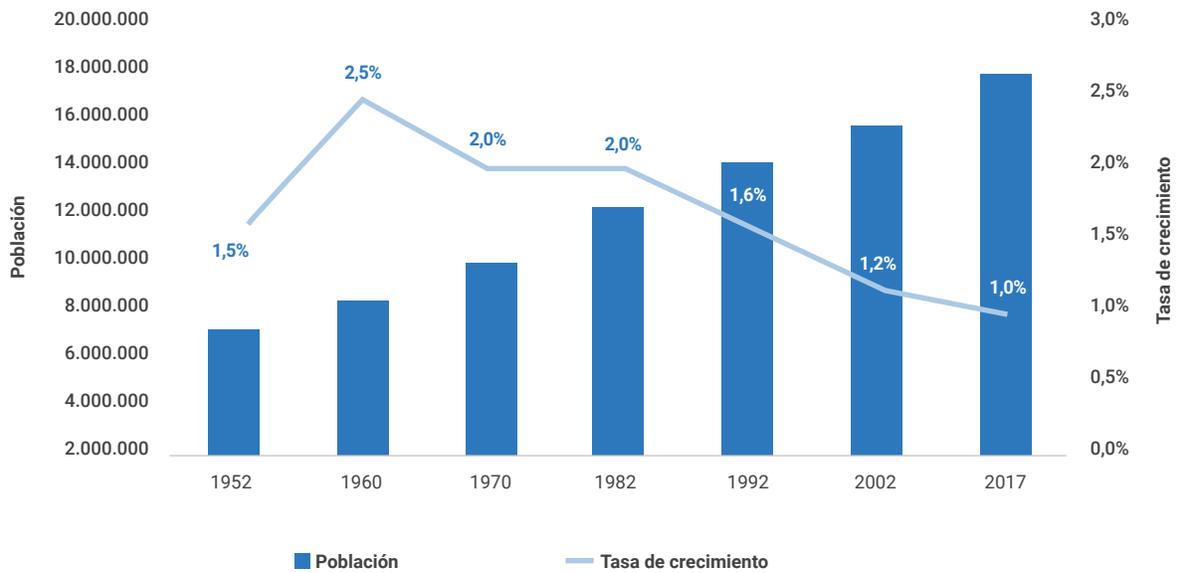
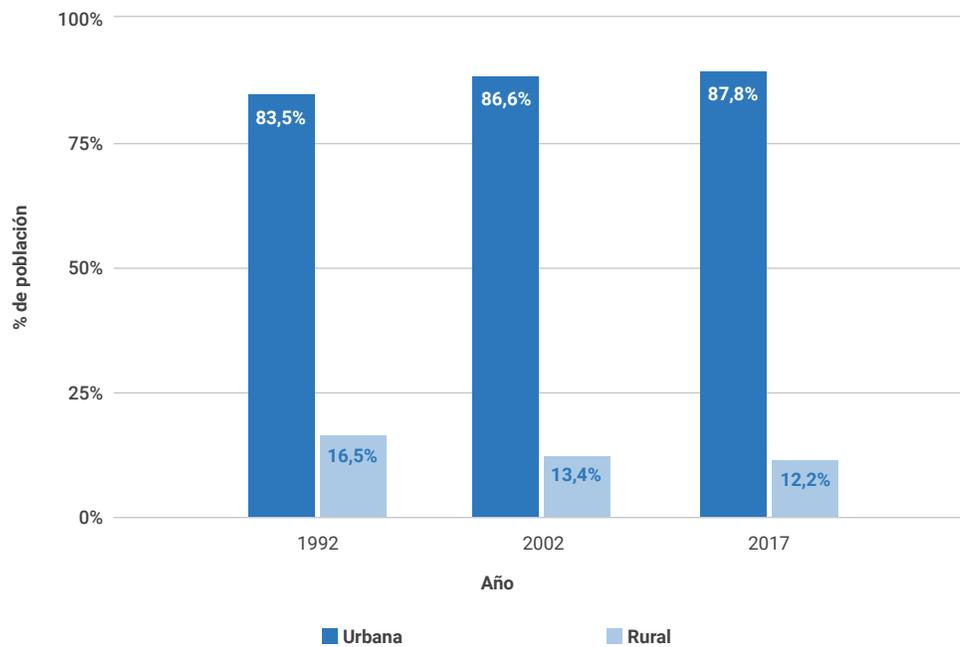


Gráfico D.2. Población por área urbana y rural, según los Censos de 1992, 2002 y 2017. Fuente: INE, 2018.



## ANEXO E. GLOSARIO

**Aluviones:** Flujo violento de agua con arrastre de grandes cantidades de material sólido (guijarros, gravas y bloques de rocas), aplicable a aquellas regiones o cauces secos en los que las lluvias ocasionales los producen (FCh, 2018).

**Amenaza:** Evento físico y/o natural, potencialmente perjudicial, fenómeno y/o actividad humana que puede causar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (ONEMI, 2016).

**Anticiclón:** Región donde la presión atmosférica es relativamente más alta en comparación a las regiones vecinas. Normalmente sobre los anticiclones el aire desciende, lo cual inhibe la formación de nubes en los niveles medios y altos de la atmósfera. Por esto un régimen anticiclónico se asocia a “buen tiempo”. Por efecto de la rotación de la Tierra, en la zona de un anticiclón el aire circula alrededor del núcleo de máxima presión, en el sentido de los punteros del reloj en el hemisferio norte y en dirección contraria en el hemisferio sur (DMC, 2020a).

**Cambio climático:** es una variación del clima, estadísticamente significativa, atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, que se suma a la variabilidad natural del clima y que altera la composición de la atmósfera. Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI) han producido este fenómeno, que aumenta la temperatura promedio del planeta, alterando los componentes del sistema climático. El principal GEI es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual aumentó exponencialmente desde la revolución industrial, producto de la quema de combustibles fósiles que generan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Otros GEI son el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los clorofluorocarbonos (CFCs), los hidrofluorocarbonos (HFCs) y el vapor de agua (IPCC, 2014).

**Clima:** Es una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período promedio habitual es de treinta años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. El clima de una localidad está determinado por los factores climatológicos: latitud, longitud, altitud, orografía y continentalidad (DMC, 2020b; IPCC, 2014).

**Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas:** Fue adoptada en Nueva York el 9 de

mayo de 1992 y rubricada ese mismo año en la Cumbre para la Tierra, celebrada en Río de Janeiro, por más de ciento cincuenta países. Su objetivo último es “la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático” (IPCC, 2008).

**Cordillera de la Costa:** Se extiende desde el sur de Arica hasta la región de Aysén y está muy interrumpida por ríos que desembocan al mar. Forma una cadena montañosa alta y continua en el norte; su altura máxima es de 3.000 m s. n. m. en el sur de Antofagasta. Entre las regiones de Atacama y Coquimbo prácticamente desaparece, en la zona central tiene poca altura y al sur del Biobío vuelven a aumentar ligeramente sus cimas. Hacia el sur comienza a fragmentarse, hasta hundirse en los canales australes (BCN, 2020; INE, 2014).

**Cordillera de los Andes:** Su altura promedio hasta Santiago es de 5.000 m s. n. m., luego comienza a descender hasta el extremo austral del continente, para reaparecer en la Antártica. La cumbre más alta es de 6.893 m s. n. m. y corresponde al Ojos del Salado, ubicado en la región de Atacama (INE, 2014).

**Declaraciones de escasez hídrica:** Son estipuladas por el presidente de la República, según el Código de Aguas, y tramitadas a petición o con informe de la DGA, con una extensión máxima de seis meses no prorrogable. Estas permiten tomar decisiones respecto a las aguas en fuentes naturales y administrar el recurso hídrico de manera tal que se reduzcan al máximo los daños derivados de la escasez.

**Depresión intermedia:** Gran parte de la población se encuentra asentada en este tipo de relieve. Se encuentra entre la cordillera de los Andes y la cordillera de la Costa. En el extremo norte del país es árida y se encuentra a 1.400 m; hacia el sur decrece suavemente hasta hundirse bajo el mar en el seno de Reloncaví (Región de Los Lagos). Continúa sumergida en dirección al sur y desaparece definitivamente en el golfo de Penas (Región de Aysén) (BCN, 2020; INE, 2014).

**Desarrollo sostenible:** Desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades (IPCC, 2014).

**Fenómeno del Niño:** Fenómeno oceánico-atmosférico de intensidad variable, que ocurre en el Pacífico. Durante su ocurrencia provoca cambios en la temperatura y en los sistemas de presión en la región tropical del océano Pacífico, afectando los climas del mundo entero (DMC, 2020b).

**Gemelos digitales:** Es una réplica digital de una entidad física viva o no viva. Al unir el mundo físico y el virtual, los datos se transmiten sin problemas, lo que permite que la entidad virtual exista simultáneamente con la entidad física (Saddik, 2018).

**Gestión de riesgos:** Planes, medidas o políticas aplicados para reducir la probabilidad o las consecuencias de los riesgos, o para responder a sus consecuencias (IPCC, 2014).  
**Intrusión marina:** Desplazamiento de agua dulce superficial o subterránea debido a la irrupción de agua salada, que tiene mayor densidad. Suele producirse en áreas costeras como consecuencia de una menor influencia de los procesos terrestres (por ejemplo, una disminución de la escorrentía y de la correspondiente recarga de agua subterránea, o una detracción excesiva de agua de los acuíferos) o a una mayor influencia de los procesos marinos (por ejemplo, el aumento del nivel del mar relativo) (IPCC, 2008).

**Internet de las cosas (IoT, Internet of Things):** Un desarrollo de Internet en el que los objetos cotidianos tienen conectividad de red, lo que les permite enviar y recibir datos. Es un estado en que los objetos físicos (cosas) que tienen tecnología incorporada para detectar y comunicarse, están conectados por un identificador como un microchip/SIM. Esto sirve para la comunicación entre esas cosas, cerrando la brecha entre el mundo real y el virtual, y creando procesos y estructuras más inteligentes que puedan apoyarnos, sin necesidad de nuestra atención. Se puede comparar con la conexión digital en el Internet (Smartex, 2016).

**Inundaciones:** Se refieren al ascenso rápido del nivel del agua, lo que genera caudales inusuales que cubren las superficies de terreno que normalmente son secos.

**Isoterma cero:** Es una línea imaginaria que une puntos de temperatura igual a cero grados, separando la precipitación líquida de la sólida, es decir, sobre esa línea cae nieve y bajo esa misma línea llueve (ONEMI, 2016).

**Medidores inteligentes (Smart meters):** Dispositivos electrónicos que miden y muestran el consumo de recursos (agua, gas, electricidad, etc.) y comunican esta información a terceros (principalmente sistemas de control). Esto permite una distribución, uso y control más eficiente de estos recursos (Smartex, 2016).

**Planicies litorales:** Se localizan entre el océano Pacífico y la cordillera de la Costa, y entre el límite norte del país hasta la isla de Chiloé. En el norte grande son elevadas, muy estrechas

y cortadas por acantilados; en el norte chico se ensanchan, en la zona central siguen interrumpidas por acantilados y en el sur se ensanchan bastante (BCN, 2020).

**Resiliencia:** Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligrosa, respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (IPCC, 2014).

**Riesgo:** Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas (muertes, lesiones, propiedad, medios de subsistencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental), resultado de interacciones entre amenazas de origen natural o antropogénicas, y condiciones de vulnerabilidad (ONEMI, 2016).

**Olas de calor:** Son definidas como el período de tiempo en el cual las temperaturas máximas diarias superan por tres días consecutivos o más un umbral diario considerado extremo. El umbral diario corresponde al percentil 90 de distribución para el período de 1981 al 2010; solo en algunas estaciones se ha utilizado un período climatológico diferente, debido a la ausencia de datos.

**Sensor:** Se utiliza para determinar ciertas características físicas, químicas o biológicas. Es un dispositivo que responde a un estímulo físico (como calor, luz, sonido, presión, magnetismo o un movimiento en particular) y lo transforma en una señal eléctrica para hacerla procesable digitalmente. Los sensores forman la columna vertebral de IoT y ayudan a cerrar la brecha entre lo digital y lo físico (Merriam Webster, 2020; Smartex, 2016).

**Sequía:** Período de condiciones anormalmente secas durante suficiente tiempo para causar un desequilibrio hidrológico grave que afecta de manera adversa a los sistemas terrestres de producción de recursos (IPCC, 2018).

**Sistemas de control supervisor y adquisición de datos (SCADA, Supervisory Control And Data Acquisition):** Es un sistema informático que recopila datos en tiempo real para monitorear y controlar sistemas o procesos (Smartex, 2016).  
**Vulnerabilidad:** Condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales y ambientales, que aumentan la susceptibilidad y exposición de una comunidad al impacto negativo de las amenazas (ONEMI, 2016).