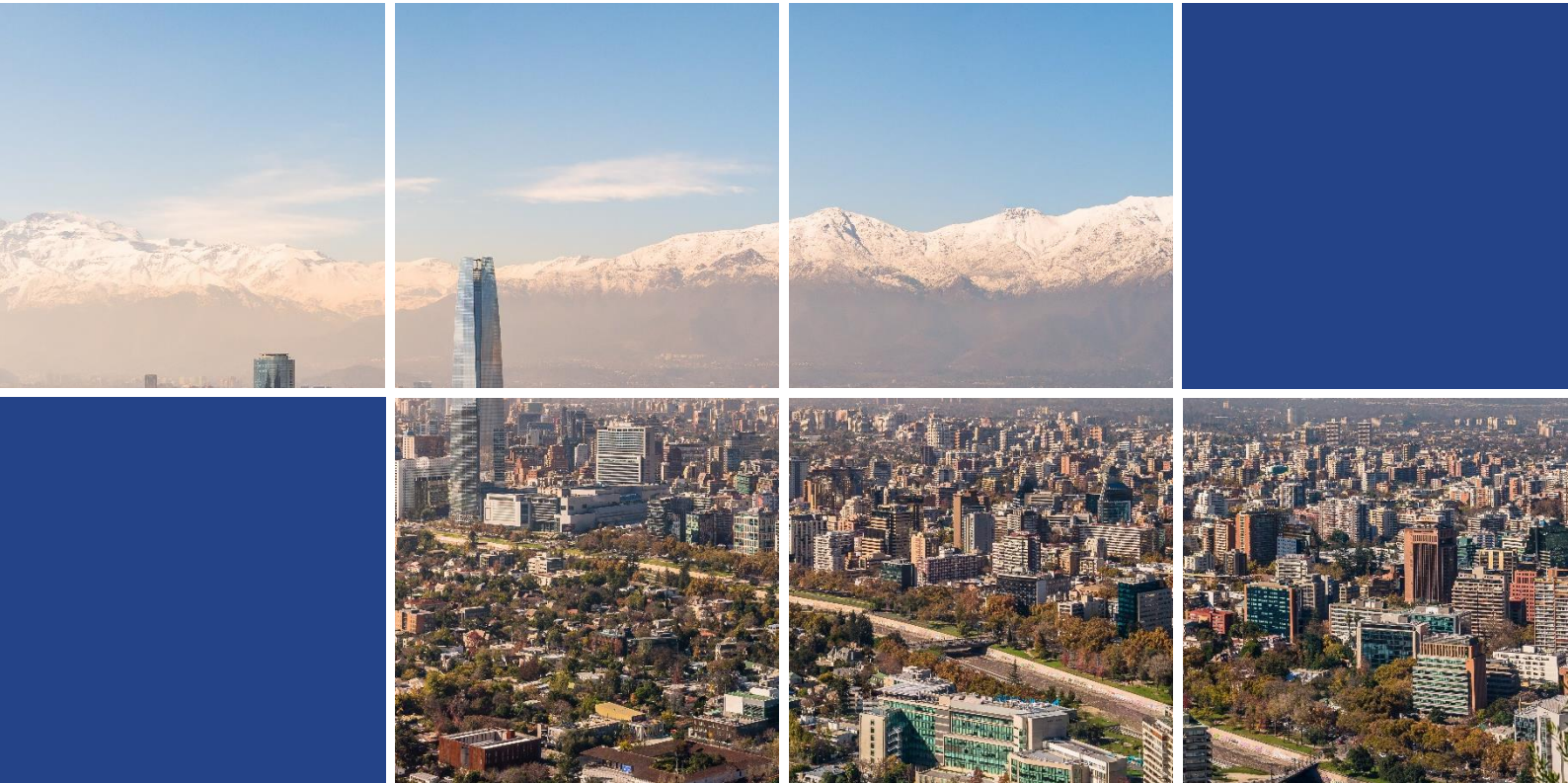


# Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico – Sector Recursos Hídricos



Elaborado para:



**Consultoría:**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

**Cliente:**

Red y Centro de Tecnología del Clima (CTCN)

CTCN, Ciudad de las Naciones Unidas, Marmorvej 51, 2100 Copenhague, Dinamarca

<https://www.ctc-n.org/>

**Producido por:**

DEUMAN

AV. Vitacura 2909, Las Condes, Santiago, Chile

+56 2 32247478

[www.deuman.com](http://www.deuman.com)

Anthesis Lavola

Rambla de Catalunya, 6, 08007 Barcelona, España.

+34 938 51 50 55

<https://www.anthesisgroup.com/es/>

**Detalles de contacto:**

Itala Ferrer

[lferrer@deuman.com](mailto:lferrer@deuman.com)

**Lugar y fecha de presentación:**

Santiago, 05 de abril del 2024.

## Índice de contenido

Índice de contenido .....	3
Índice de tablas.....	5
Índice de figuras .....	6
Siglas y acrónimos.....	7
Resumen ejecutivo .....	8
Plan de Acción Tecnológica.....	8
Alcance y ambición del plan.....	8
Acciones para el Plan de Acción Tecnológico recursos hídricos .....	9
Ideas de proyectos.....	10
1.    Antecedentes.....	11
2.    Análisis de barreras.....	13
2.1.    Tecnología 1. Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua .....	13
2.1.1.    Descripción de la tecnología .....	13
2.1.2.    Análisis de barreras .....	16
2.1.3.    Recomendaciones para levantar las barreras .....	18
2.2.    Tecnología 2. Reutilización de agua residual urbana .....	19
2.2.1.    Descripción de la tecnología .....	19
2.2.2.    Análisis de barreras .....	23
2.2.3.    Recomendaciones para levantar las barreras .....	25
2.3.    Tecnología 3. Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL).....	25
2.3.1.    Descripción de la tecnología .....	25
2.3.2.    Análisis de barreras .....	29
2.3.3.    Recomendaciones para levantar las barreras .....	30
3.    Plan de Acción Tecnológico (PAT) para el sector Recursos Hídricos .....	32
3.1.    Descripción general del sector.....	32
3.2.    Ambición del PAT.....	32
3.3.    Acciones y actividades .....	33
3.3.1.    Tecnología 1. Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua .....	33
3.3.2.    Tecnología 2. Reutilización de agua residual urbana.....	35
3.3.3.    Tecnología 3. Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) .....	37
3.4.    Mapeo de actores para la implementación del TAP .....	39
3.5.    Estimación de recursos necesarios para acciones y actividades.....	39
3.5.1.    Necesidades para el fortalecimiento de capacidades.....	39
3.5.2.    Estimación de costos de acciones y actividades .....	40
3.6.    Planificación de la gestión .....	52
3.6.1.    Medidas de gestión para el riesgo .....	52
3.6.2.    Próximos pasos .....	55
3.7.    Reporte y Monitoreo.....	56
4.    Ideas de proyecto del sector.....	57
4.1.    Idea de proyecto tecnología 1: Machine Learning para detección de fugas .....	57

4.1.1.	Objetivos.....	57
4.1.2.	Actividades y cronograma del proyecto.....	57
4.1.3.	Relación con las prioridades del país.....	59
4.1.4.	Co-beneficios del proyecto.....	59
4.1.5.	Presupuesto del proyecto.....	60
4.1.6.	Medidas de gestión de riesgo.....	61
4.2.	Idea de proyecto tecnología 2: Reutilización de agua residual con humedales artificiales ..	62
4.2.1.	Objetivos.....	63
4.2.2.	Actividades y cronograma del proyecto.....	63
4.2.3.	Relación con las prioridades del país.....	64
4.2.4.	Co-beneficios del proyecto.....	64
4.2.5.	Presupuesto del proyecto.....	65
4.2.6.	Medidas de gestión de riesgo.....	66
4.3.	Idea de proyecto tecnología 3: SCALL.....	66
4.3.1.	Objetivos.....	67
4.3.2.	Actividades y cronograma del proyecto.....	67
4.3.3.	Relación con las prioridades del país.....	69
4.3.4.	Co-beneficios del proyecto.....	70
4.3.5.	Presupuesto del proyecto.....	71
4.3.6.	Medidas de gestión de riesgo.....	72
	Referencias bibliográficas.....	73
	Anexo.....	76
	Anexo 1: Glosario.....	76
	Anexo 2. Metodología BAEF.....	78
	Anexo 3. Esquemas causa - efecto.....	81

## Índice de tablas

Tabla 1. Recomendaciones para para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua con <i>machine learning</i> .....	18
Tabla 2. Recomendaciones para tratamiento de aguas residuales.....	25
Tabla 3. Recomendaciones para los sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL) .....	31
Tabla 4. Alcance de la tecnología .....	32
Tabla 5. Actividades generales y específicas para la tecnología de Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua .....	34
Tabla 6. Actividades generales y específicas de la tecnología reutilización de agua residual urbana	36
Tabla 7. Actividades generales y específicas de la tecnología sistema de captación de agua de lluvia (SCALL) .....	38
Tabla 8. Tabla de planificación de las acciones para implementación de las actividades de la tecnología 1.....	41
Tabla 9. Tabla de planificación de las acciones para implementación de las actividades de la tecnología 2.....	45
Tabla 10. Tabla de planificación de las acciones para implementación de las actividades de la tecnología 3 .....	49
Tabla 11. Tipos de riesgos identificados para el sector .....	52
Tabla 12. Análisis de riesgos del sector de recursos hídricos .....	54
Tabla 13. Análisis de riesgo de las tecnologías prioritizadas del sector .....	55
Tabla 14. Identificación de las necesidades inmediatas y pasos críticos .....	56
Tabla 15. Actividades y cronograma de la tecnología 1.....	57
Tabla 16. Estimación de costos de la idea de proyecto de la tecnología 1 .....	60
Tabla 17. Actividades y cronograma de la tecnología 2.....	63
Tabla 18. Estimación de costos de la idea de proyecto de la tecnología 2 .....	65
Tabla 19. Actividades y cronograma de la tecnología 3.....	68
Tabla 20. Estimación de costos de la idea de proyecto de la tecnología 3 .....	71

## Índice de figuras

Figura 1. Principios de la economía circular del agua .....	12
Figura 2. Componente de la tecnología basada en Machine Learning .....	13
Figura 3. Componentes requeridos dentro del marco habilitante del reúso de aguas residuales tratadas .....	19
Figura 4. Croquis de un modelo de enrejado para el pretratamiento.....	20
Figura 5. Modelo de croquis de la instalación final .....	20
Figura 6. Humedal artificial horizontal con flujo superficial y con flujo subsuperficial.....	21
Figura 7. Componentes de un sistema de captación de aguas lluvias SCALL.....	26
Figura 8. Esquema de SCALL Comunitario .....	27
Figura 9. Metodología del BAEF.....	78
Figura 10. Esquema causa – efecto de las barreras y/o brechas existentes para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua con <i>machine learning</i> .....	81
Figura 11. Esquema causa – efecto de las barreras y/o brechas existentes para la inserción de los sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL) .....	82
Figura 12. Esquema causa – efecto de las barreras y/o brechas existentes para la inserción de la tecnología de reutilización de agua residual urbanas.....	83

## Siglas y acrónimos

<b>ANF</b>	Aguas no facturadas
<b>APR</b>	Agua Potable Rural
<b>AST</b>	Aguas servidas no tratadas
<b>DGA</b>	Dirección General de Aguas de Chile
<b>DIA</b>	Declaración de Impacto Ambiental
<b>ECLP</b>	Estrategia Climática de Largo Plazo
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>INDAP</b>	Instituto de Desarrollo Agropecuario
<b>INIA</b>	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
<b>MINAGRI</b>	Ministerio de Agricultura
<b>ML</b>	Machine Learning
<b>MMA</b>	Ministerio de Medio Ambiente de Chile
<b>MOP</b>	Ministerio de Obras Públicas de Chile
<b>NDC</b>	Contribuciones nacionalmente determinadas
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales
<b>SbN</b>	Soluciones Basadas en la Naturaleza
<b>SCALL</b>	Sistemas de Capación de Aguas Lluvia
<b>SEIA</b>	Servicio de Evaluación Ambiental
<b>SISS</b>	Superintendencia de Servicios Sanitarios

## Resumen ejecutivo

### Plan de Acción Tecnológica

La evaluación de necesidades tecnológicas (TNA) en Chile, se desarrolló en 3 etapas: (1) identificación y priorización de tecnologías, (2) identificación y análisis de barreras para su implementación y (3) elaboración de planes de acción tecnológicas (PAT). Asimismo, preliminarmente a la ejecución de estas etapas se conformó un ecosistema de actores, que se establecieron en base al análisis de partes interesadas clave, el establecimiento de un comité directivo TNA y la formación de grupos de trabajo para el sector recursos hídricos.

El PAT es un plan detallado que describe las acciones y estrategias necesarias para promover la adopción de las tecnologías identificadas en las etapas anteriores. Para el **sector recursos hídricos** responde a los desafíos relacionados a la sequía y disponibilidad del agua, acceso a agua potable en zonas rurales, fuentes alternas de agua, pérdidas en la red de agua potable, reutilización de agua residuos, gestión de riesgos de desastres, entre otras.

### Alcance y ambición del plan

El Plan de Acción Tecnológico responde a la NDC, Estrategia Climática a Largo Plazo (ECLP), Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y el Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos.

	Alcance	Ambición del Plan
Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua	Su aplicación se centra en el sector urbano y es de alcance comunal y/o regional. Cabe mencionar que no se hace referencia a las fugas que pueden ocurrir dentro de la infraestructura de un hogar sino en las redes de distribución de una ciudad.	<p>Disminuir el porcentaje de cortes del servicio por reparaciones de tuberías por fugas de aguas.</p> <p>Disminuir el porcentaje de volumen de aguas no facturadas por fugas en las empresas distribuidoras.</p>
Reutilización de agua residual urbana	El reúso de agua residual se logra mediante distintas tecnologías de tratamiento de agua y las barreras que involucran actualmente su uso. Cabe mencionar que se consideró que su campo de aplicación sea tanto el sector rural como urbano a nivel regional.	<p>Aumentar la cantidad de aguas residuales tratadas y la reutilización del 100% de dichas aguas para riego.</p> <p>Aumentar la cobertura del tratamiento de aguas residuales del 100% de la comunidad beneficiaria de la implementación de un proyecto del PAT.</p>
Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)	La implementación de los sistemas de captación de aguas lluvias está enfocada en generar una fuente de agua para riego en zonas rurales y aisladas, considerando que pueda ser aplicada tanto a pequeña como a gran escala.	Destinar el 100% del agua capturada para el riego realizado por familias agricultoras.

## Acciones para el Plan de Acción Tecnológico recursos hídricos

Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua	<p>A1. Robustecer el marco regulatorio que permita establecer incentivos a la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua en la regulación, en respuesta a las metas de la NDC.</p> <p>A2. Fortalecer de alianzas público-privadas que favorezcan la inversión de la tecnología para la reducción de fugas de agua en los sistemas de red de agua sanitaria.</p> <p>A3. Desarrollar de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning, incluyendo la captura de datos, para la reducción de fugas en las redes sanitarias.</p> <p>A4. Desarrollar una estrategia institucional que fortalezca el servicio de fiscalización a las empresas sanitarias, en la temática de pérdidas de agua</p>	MOP SISS ASCC
Reutilización de agua residual urbana	<p>A1.1 Robustecer el marco regulador que establece el uso de agua para que preste prioridad al uso de agua lluvia como fuente de abastecimiento hídrica</p> <p>A1.2 Fortalecer la capacidad técnica y acompañamiento a las municipalidades y gobierno regional por parte de las instituciones y servicios nacionales relacionados con agricultura, riego y recurso hídrico</p> <p>A2. Fortalecer sinergias entre diversos actores que permita una mayor implementación de los SCALL en zonas estratégicas</p> <p>A3. Promover la aplicación de los SCALL en las zonas potencialmente beneficiarias.</p>	MOP MMA
Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)	<p>A1. Implementar una estrategia que movilice recursos destinados al financiamiento de SAT existentes.</p> <p>A2. Generar recomendaciones en un lenguaje sencillo para agricultores/as y ganaderos/as rurales que brinde acciones de preventivas y específicas.</p> <p>A3. Capacitar al personal encargado de los reportes de difusión de alertas tempranas en un lenguaje sencillo.</p> <p>A4. Implementar una estrategia de difusión de alertas tempranas para los silvoagropecuarios rurales.</p>	MOP MINAGRI MMA

## Ideas de proyectos

### Machine Learning para detección de fugas

Esta idea de proyecto propone la implementación de una solución basada en machine learning (ML) por una empresa distribuidora de agua potable en Chile, que enfrente un alto porcentaje de fugas en su red, posea tuberías antiguas y abastezca poblaciones rurales. El objetivo es utilizar algoritmos de ML para analizar datos en tiempo real y detectar fugas de manera eficiente, minimizando la pérdida de agua y evitando cortes de agua por reparaciones, por ende, mejorando el servicio de agua potable en varias comunas o localidades.

Se recomienda que esta idea de proyecto sea aplicada por una empresa privada de abastecimiento de agua, primero bajo un piloto que pueda aplicar en una comuna, y subsiguientes etapas podría ampliarse a todas las comunas o localidades que abastece.

### Reutilización de agua residual con humedales artificiales

Se contempla el piloto desde el tratamiento del agua residual con una solución basada en la Naturaleza (SbN) para su reúso en la agricultura. El piloto deberá comprender una zona bajo porcentaje de tratamiento de aguas y que existan casos de contaminación de aguas por el vertimiento del agua residual en los cuerpos de agua.

Se sugiere a la comuna de Isla de Maipo, de la región Metropolitana, dado que su sistema de tratamiento de aguas es deficiente y consiste en la recolección diaria o semanal de camiones limpia fosas.

### Programa SCALL

La idea de proyecto propone la implementación de un Programa Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) para comunidades con escasez de recursos hídricos para riego, el cual complementará los sistemas existentes de Agua Potable Rural (APR) en la macrozona centro-sur de Chile. Estos sistemas estarían diseñados para recolectar y almacenar agua de lluvia, reduciendo la dependencia del suministro de agua potable para usos no potables y abordando los desafíos de abastecimiento en zonas aisladas.

La macrozona centro sur que incluye a las regiones de O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío cuenta con aproximadamente 39 APR en sus territorios, sin embargo, la provisión de los servicios de agua potable para áreas rurales en condiciones de calidad, continuidad y cantidad sigue siendo un desafío, principalmente por la dispersión de las viviendas, características socioeconómicas y geográficas innatas de la región.

## 1. Antecedentes

A partir del trabajo en conjunto realizado con los miembros del grupo de trabajo sectorial de recursos hídricos, se establecieron 7 desafíos para el subsector agua potable urbana y 5 desafíos del subsector agua potable rural<sup>1</sup>, relacionados a la sequía y disponibilidad del agua, acceso a agua potable en zonas rurales, fuentes alternas de agua, pérdidas en la red de agua potable, reutilización de agua residuos, gestión de riesgos de desastres, entre otras.

En ese sentido, se realizó una búsqueda de tecnologías que pudieran responder a los 12 desafíos establecidos, las cuales se organizaron en 3 categorías: tecnologías de gestión del riego, tecnologías de reúso de agua con fines domésticos, y tecnologías para el tratamiento y reutilización de aguas. Posteriormente, se priorizó una tecnología por categoría teniendo en consideración el contexto chileno respecto a los recursos hídricos. A continuación, se brindan algunos datos que permitan comprender la situación del país:

- En Chile la situación de la falta de acceso al agua potable y saneamiento es especialmente crítica en las zonas rurales. El 47,2% de la población rural no cuenta con un abastecimiento formal de agua potable, el 58,8% se abastece mediante pozos, el 25,8% mediante ríos, esteros, canales o vertientes, y el 15,4% se abastece de camiones aljibes [1].
- Se ha fortalecido la idea de considerar otras fuentes de agua, como el uso de agua residual. Si bien la legislación actual no regula de manera específica el reúso de aguas residuales tratadas, existe una propuesta de Ley para su regulación y fomento que establece que los servicios sanitarios están obligados a establecer y poner en funcionamiento sistemas de tratamiento de aguas residuales para aquellas que se descarguen o evacuen a través de emisarios submarinos. Asimismo, los sistemas deben permitir la purificación y reutilización de al menos un 35% de las aguas residuales descargadas o evacuadas mensualmente. Además, el proyecto de ley propone una normativa respecto a la calidad de las descargas a través de emisarios submarinos [2].
- Respecto a las pérdidas de recursos hídricos, se ha establecido como acción climática en las NDC de Chile que al 2030, se reducirá al menos en un 25% las pérdidas de agua por concepto del volumen de aguas no facturadas (ANF) de los sistemas sanitarios. En ese sentido, la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) determinó que el ANF alcanzó un valor de 33,2% en 2021. Al respecto, resalta que en los últimos 10 años no se aprecian cambios significativos en el nivel de ANF, manteniéndose en un rango de 30 – 35% [3].

Adicionalmente, es preciso mencionar que, de acuerdo con el artículo desarrollado por la Universidad de Chile, en el país es necesario avanzar hacia un modelo de economía circular basada en la reducción, el reúso, el reciclaje, la restauración y la recuperación del recurso hídrico, con el fin de aliviar las presiones ejercidas sobre este y asegurar su conservación [4]. A continuación, se detalla cada uno de los principios mencionados de la economía circular del agua.

---

<sup>1</sup> Revisar el Producto 2 de la consultoría.

Figura 1. Principios de la economía circular del agua



Fuente: Donoso & Rivera [4]

Teniendo esto en consideración, el Tercer grupo de trabajo sectorial priorizó las siguientes tecnologías: (i) *machine learning* para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua; (ii) captación, tratamiento y almacenamiento de agua de lluvia; y (iii) reutilización de agua residual.

## 2. Análisis de barreras

### 2.1. Tecnología 1. Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua

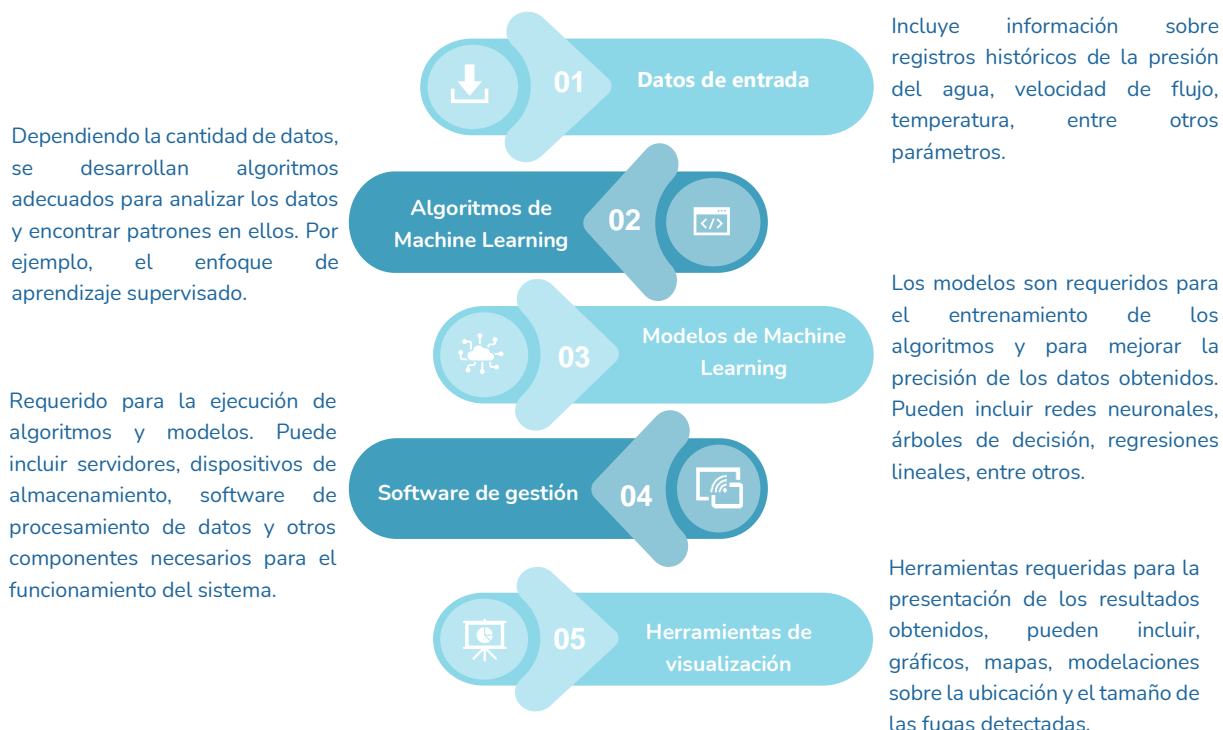
#### 2.1.1. Descripción de la tecnología

Una *Machine Learning* es una forma de inteligencia artificial en la que el sistema no requiere de ningún conocimiento específico detallado sobre el sistema, es decir, este aprende a partir de los datos históricos recopilados junto con herramientas estadísticas o de reconocimiento de patrones, en lugar de ser programado de manera directa [5]. Con respecto a su aplicación en las redes de distribución de agua, esta tecnología se basa en la recopilación de datos que posibilitan la creación de modelos de predicción o clasificación de fugas mediante la aplicación de un algoritmo de aprendizaje.

Dependiendo la cantidad de datos disponibles para el entrenamiento y el problema a resolver, existen diferentes enfoques de aprendizaje de las *Machine Learning*: aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y aprendizaje por esfuerzo. De acuerdo con el estudio de la Universidad de Chile, la detección de fugas en las redes de distribución es un problema que puede resolverse mediante el aprendizaje supervisado en el que los datos de entrada son las presiones en los nodos de la red y el resultado esperado es la ubicación de las fugas en la red [6].

A continuación, se detallan los componentes mínimos requeridos para el funcionamiento de la tecnología.

Figura 2. Componente de la tecnología basada en Machine Learning



Fuente: Gámez, A. (2021) [5]

Si bien existen otras tecnologías para la detección de fugas, estas presentan una serie de inconvenientes. Por ejemplo, existen robots controlados a distancia que portan una cámara para detectar fugas dentro de las tuberías, pero necesitan mucho tiempo de operación y su precisión depende de la experiencia del operador [6]. Respecto a la detección por emisiones acústicas, la señal es afectada por el tipo de material de las tuberías y condiciones cambiantes de propagación del sonido entre diferentes secciones de la tubería, así como fuentes externas (como el ruido de fondo). Además, muchas técnicas acústicas no son sensibles a fugas grandes, ya que no generan suficientes vibraciones en frecuencias altas. En el caso de los radares de penetración, su efectividad se ve influenciada por la humedad, heterogeneidad y el tipo del suelo, así como de la profundidad a la que se encuentran las tuberías [6].

En complemento, el Box 1 presenta los pasos a tomar en cuenta a los actores que pretendan implementar esta tecnología.

#### Box 1. Características operativas de la puesta en marcha de la tecnología 1

El objetivo final del Machine Learning es diseñar algoritmos que ayuden automáticamente a un sistema a recopilar datos y utilizarlos para aprender más (deep learning). Finalmente, se espera que los sistemas de detección de fugas de agua busquen patrones en los datos recopilados y los utilicen para tomar decisiones vitales por sí mismos, como predecir las fugas y reportarlas, de tal forma que la empresa pueda solucionarlas a tiempo y ahorrar costos.

A continuación, se detallan los pasos generales a seguir para aplicar la tecnología de ML [7]:

- **Recolección de datos:** Es de suma importancia recopilar datos confiables para que su modelo de aprendizaje automático pueda encontrar los patrones correctos. La calidad de los datos que introduzca en la máquina determinará la precisión de su modelo. Si tiene datos incorrectos o desactualizados, obtendrá resultados erróneos o predicciones que no son relevantes.

Se recomienda la priorización del uso de data primaria, o de carecer de data histórica primaria, y realizar mediciones in situ para asegurar la calidad de los datos.

- **Preparación de los datos:** Se pueden preparar los datos bajo los siguientes procedimientos:
  - Aleatorizar los datos, para garantizar que se distribuyan uniformemente y que el orden no afecte el proceso de aprendizaje.
  - Limpiar los datos para eliminar datos no deseados, valores faltantes, filas y columnas cuando no tengan la cantidad mínima de datos o valores inválidos, valores duplicados, conversión de tipos de datos, etc.
  - Visualizar los datos para comprender cómo están estructurados y así como la relación entre varias variables y clases presentes.
  - Dividir los datos limpios en dos conjuntos: un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba. El conjunto de entrenamiento es el conjunto del que aprende su modelo. Se utiliza un conjunto de pruebas para comprobar la precisión de su modelo después del entrenamiento.
- **Selección de un modelo:** Un modelo de ML determina el resultado que se obtiene después de ejecutar un algoritmo de aprendizaje automático en los datos recopilados. Es importante elegir un modelo que sea relevante para la tarea en cuestión.

Por ejemplo, para detección de fugas de agua se ha identificado en la bibliografía modelos como el OpenFlows WaterGems, el EPANET desarrollada por la Agencia de Protección Ambiental y que es un software de libre distribución.

Para los lenguajes de programación se pueden usar las herramientas como R o Python, modelos universalmente más utilizados.

- **Entrenamiento del modelo:** Esta es una de las etapas más importantes. Durante el entrenamiento, pasa los datos preparados a su modelo de aprendizaje automático para encontrar patrones y hacer predicciones. El resultado es que el modelo aprende de los datos para poder realizar la tarea establecida.

Con el tiempo y el entrenamiento, el modelo mejora en la predicción.

- **Evaluación del modelo:** Después de entrenar el modelo, se debe verificar su rendimiento. Esto se hace probando el rendimiento del modelo con datos previamente desconocidos. Los datos invisibles utilizados son el conjunto de pruebas en el que se dividieron los datos anteriormente.

Cabe resaltar que, si las pruebas se realizan con los mismos datos que se utilizan para el entrenamiento, no se obtendrá una medida precisa, ya que el modelo está acostumbrado a dichos datos y encuentra los mismos patrones en ellos que antes. Esto podría dar una precisión desproporcionadamente alta y afectar la evaluación del modelo.

- **Ajuste de parámetros:** Este ajuste es para mejorar el modelo. Los parámetros son las variables del modelo que generalmente decide el programador. Para un valor particular de su parámetro, la precisión será la máxima. El ajuste de parámetros se refiere a encontrar estos valores.
- **Predicciones:** La última etapa consiste en usar el modelo para empezar a predecir las fugas de agua de las tuberías.

## A. Justificación

Según una de las contribuciones planificadas en NDC Chile (2020) con relación a la gestión del agua, se establece una acción climática específica: para el año 2030, se trabajará en la reducción de al menos un 25% de las pérdidas de agua, incluyendo las fugas en las redes de distribución que no se reflejan en la facturación [8]. En este mismo sentido, la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el informe de la Mesa Nacional del Agua 2020 mencionan que uno de los desafíos prioritarios del sector es la minimización de pérdidas de agua potable por cuenta de filtraciones, roturas y otras deficiencias técnicas que se producen en las redes de abastecimiento de agua potable [9] [10].

En vista de lo anterior, la implementación de tecnologías basadas en Machine Learning para la detección de fugas, permitiría alcanzar de manera efectiva los objetivos y desafíos establecidos en los instrumentos mencionados, contribuyendo en ambos casos a fortalecer la gestión del recurso hídrico en el territorio.

Además de contribuir en la gestión del recurso hídrico, la implementación de esta tecnología contribuiría en otros aspectos:

- **Conservación de los recursos hídricos:** La implementación de la tecnología para la contribuir a la reducción de fugas favorecería el establecimiento de sistemas de distribución de agua potable más eficiente, contribuyendo a su vez a reducir la presión sobre los recursos hídricos y aportando a su conservación [11].
- **Reducción de consumos energéticos:** La reducción de fugas en redes de distribución implica un impacto directo en el consumo energético y los costos asociados, por ende, las emisiones de GEI. Esto, por cuenta de la reducción de energía requerida para bombear y distribuir el agua a través de las redes [12].

## B. Avances de implementación

Con respecto a los avances en la implementación de las tecnologías priorizadas, se identificó que para la tecnología “**Machine Learning aplicado a la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua**” se han desarrollado experiencias positivas a nivel piloto en Chile.

En la región Metropolitana, se desarrolló un modelo hidráulico de la red de agua potable mediante el software EPANET<sup>2</sup> con el cual se generaron conjuntos de datos de entrenamiento y validación, correspondientes a las presiones de la red para distintos estados de operación y ubicación de fugas, lo que permite el ajuste del clasificador para la detección de fugas en la red. Los resultados del proceso de entrenamiento y validación muestran un buen comportamiento para la detección de fugas en la red de estudio, donde se observa una precisión del por encima del 97% para 3 casos de estudio que complejizan el problema progresivamente [6]. El autor validó el algoritmo de redes neuronales para la detección de fugas en una red de estudio y determinó que es una mejor opción frente a otros algoritmos supervisados como máquina de vectores de soporte (SVM, por sus siglas en inglés) propuesto por otros autores [13].

## **2.1.2. Análisis de barreras**

### **2.1.2.1. Institucionales, políticas y regulatorias**

#### **A. Falta de metas de reducción de pérdidas de agua rentables en algunas empresas sanitarias**

Según las entrevistas realizadas a representantes de la SISS, las empresas sanitarias no gestionan todas las fugas de agua que identifican debido a la falta de rentabilidad<sup>3</sup>. En ese sentido, algunas empresas han realizado un cálculo económico del nivel de pérdida óptimo en que las acciones de reparación tienen un costo menor al de las reparaciones planeadas (en otras palabras, metas de reducción de pérdidas de agua). Sin embargo, según el estudio “Estándares para la determinación de las aguas no facturadas y balance de aguas”, solo 3 de las 10 empresas consultadas utilizan dicha metodología, por lo que debería extenderse para ayudar a focalizar los esfuerzos en aquellas empresas que mantienen mayores tasas de pérdidas.

En ese sentido, la SISS carece de la autoridad para fijar metas de reducción de pérdidas de agua en las empresas sanitarias por lo que tendrían que generar acuerdos voluntarios con ellas [3]. Esto podría ser un impedimento en la rápida adopción de tecnologías para reducir las fugas de agua debido a que no se pueden establecer incentivos obligatorios.

#### **B. No existen multas por fugas de agua en las redes de distribución de agua**

El marco normativo aplicado a las empresas sanitarias, se establece la definición de una “empresa modelo”<sup>4</sup> la cual es usada de referencia para optimizar la prestación de servicios. Las actividades que debe llevar este tipo de empresa comienzan en la etapa de captación del recurso hídrico (incluyendo la infraestructura de regulación), continúan con el acceso a los permisos correspondientes para su uso, y culminan cuando las aguas residuales tratadas se devuelven a un cuerpo de agua natural u océano. Siguiendo esta definición, la eficiencia hídrica de la “empresa modelo” no es directamente motivo de fiscalización, siendo relevante para ese propósito solo los objetivos relacionados con la calidad del servicio al usuario (por ejemplo: continuidad, calidad del agua, presión) [14].

---

<sup>2</sup> EPANET es un software gratuito desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. Es ampliamente utilizado en el campo de la modelación hidráulica de redes de distribución de agua potable debido a su flexibilidad, facilidad de acceso y capacidad de integración con diversos lenguajes de programación, como Python. Esto significa que es posible generar los datos de entrada y desarrollar algoritmos de detección en un entorno de programación único y coherente.

<sup>3</sup> Esto se aborda a mayor profundidad en la subsección 2.1.2

<sup>4</sup> La empresa modelo responde a la siguiente pregunta: Si tuviéramos que partir de cero ¿cómo diseñaríamos la empresa hoy para satisfacer eficientemente la demanda de servicios sanitarios?

En este contexto, no es posible establecer multas según el porcentaje de aguas que se pierden en las redes de distribución porque la normativa las omite y solo las tiene en consideración si provocan pérdidas en la continuidad del suministro de agua. Así, en la práctica, las fugas de agua superan ampliamente las incorporadas en la “empresa modelo” por lo que las empresas sanitarias cuentan con menos incentivos de los que se pudiera esperar para la introducción de nuevas tecnologías de identificación de fugas.

### **C. Limitado personal fiscalizador para las empresas sanitarias**

Si se establecieran multas a las empresas sanitarias por las fugas de agua, estas podrían no ser adecuadamente implementadas. En base a las entrevistas realizadas, se infirió que el número de agentes con los que cuenta la SISS en la Unidad Técnica, en la Unidad de Información y en el Área de Estudios, sería insuficiente para fiscalizar a las empresas sanitarias y garantizar el cumplimiento de la Ley.

## **2.1.2.2. Técnicas y de capacidad**

### **A. Limitada disponibilidad de datos**

La principal limitación para la aplicación de metodologías de *machine learning* en la detección y localización de fugas en las redes de agua es la falta de información referente a fugas detectadas en terreno del sistema. Se requiere de registros de información sobre la materialidad de tuberías, dimensiones, estimación de demandas del sector y la ubicación de los elementos de la red (válvulas, estanques y sus características). La falta de información también repercute en los procesos de calibración de datos, puesto que algunos estudios han determinado que, al no contar con data de comportamiento real de las redes hidráulicas, se podrían generar resultados artificiales [6].

En el caso de Chile, la SISS mantiene registro de la información de infraestructura de las empresas sanitarias según el protocolo de información PR012001, el cual incluye un capítulo de archivos cartográficos que las empresas sanitarias envían desde 2012 en formato shapefiles. Asimismo, se recopila la producción de agua no facturada para generar un registro anual. Sin embargo, estas cantidades podrían estar sub dimensionadas porque la información se obtiene por solicitud a las empresas de distribución, quienes en algunas ocasiones no presentan sus reportes (SISS, 2022).

En ese sentido, el resto de los datos necesarios para la implementación de estas tecnologías estarían recopilados por las empresas de saneamiento, pero no se encuentran disponibles para su uso por otros actores de interés debido a que no se cuenta con una institucionalidad responsable de su recopilación y puesta a disposición (Fundación Chilena del Pacífico, 2021) [15].

### **B. Se requieren tiempos extensos para la generación de datos de entrada**

Lobos J. (2022) [6] concluyó que la generación de datos de entrada para algoritmo de machine learning requiere de un largo tiempo debido a la serie de simulaciones hidráulicas necesarias. En específico, necesitó 15 horas para un conjunto de 100 tuberías que corresponden al 2% de las tuberías de la red de la Región Metropolitana. Considerando que las simulaciones fueron realizadas en la infraestructura técnica del Laboratorio Nacional de Computación de Alto Rendimiento (NLHPC, por sus siglas en inglés) de la Universidad de Chile, cuyo hardware es significativamente superior a un equipo de uso cotidiano, se requeriría un tiempo significativamente superior para la evaluación completa de la red hidráulica estudiada.

### C. Dificultad para modelar las redes de agua

En algunos casos, puede resultar complejo representar los flujos de agua de una red en un modelo hidráulico dado que el consumo no es constante a lo largo del día o que el área de estudio no haya sido correctamente representada en los planos de distribución de agua. Esto podría repercutir en la precisión de los procesos de calibración [16].

### D. Falta de experiencias previas

Se identificó que las empresas sanitarias del país suelen hacer uso de tecnologías como geófonos, gas trazador o correladores acústicos para reducir las pérdidas de agua [17]; sin embargo, las experiencias que involucran la detección y localización de fugas de agua mediante técnicas de ML fueron escasas.

#### 2.1.2.3. Socio culturales, informativas y de concientización

- Limitada capacidad de reparación de fugas de agua por parte de las empresas sanitarias

Como parte del estudio “Estándares para la determinación de las aguas no facturadas y balance de aguas”, se realizó una serie de entrevistas a 10 empresas sanitarias de Chile. En ellas, todas confirmaron que se detectan más eventos fugas de los que se reparan, debido a que no resulta rentable, por lo que algunas empresas como SACYR detuvieron sus actividades de detección de fugas a modo de calzar el número de fugas identificadas con el número de reparaciones que se realizan [18]. En este contexto, resulta complejo promover la adopción e implementación de nuevas tecnologías para la detección de fugas de agua.

#### 2.1.3. Recomendaciones para levantar las barreras

En el análisis de causa-efecto para la tecnología de machine learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua (ver Tabla 1) se identificó que el principal desafío responde a los grandes porcentajes de volúmenes de agua potable perdidas debido a las fugas en la red de las empresas sanitarias. Este efecto se produce como consecuencia de la falta de fomento de la reducción de pérdidas de agua a las empresas sanitarias por parte de la SISS, la limitada capacidad de reparación de fugas por parte de estas empresas sanitarias y que las actuales tecnologías de detección de fugas utilizadas son deficientes en comparación con las de *machine learning*.

Estas causas son resultado de 4 barreras y/o brechas presentadas en la Tabla 1, junto a la propuesta de sus potenciales medidas.

**Tabla 1. Recomendaciones para para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua con machine learning**

Barreras / brechas identificadas	Nivel de prioridad	Potencial medida
B1. Omisión de “fugas de agua” dentro del marco regulatorio actual <sup>5</sup>	Crucial	M1. Robustecimiento del marco regulatorio que permita incorporar a “la reducción de fugas de agua en las redes de distribución” en la regulación en respuesta a las metas de la NDC

<sup>5</sup> Actualmente la ley 18902, que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios, establece en su artículo 11 inciso A que el SISS solo puede establecer multas a las empresas sanitarias por infracciones que importen deficiencias en la calidad, continuidad u obligatoriedad de los servicios, mas no por fugas del recurso.

Barreras / brechas identificadas	Nivel de prioridad	Potencial medida
B2. Incertidumbre de la participación de las empresas prestadoras de servicios ante la nueva tecnología	Crucial	M2. Fortalecimiento de alianzas público-privadas que favorezca la inversión de la tecnología para la reducción de fugas de agua en los sistemas de red de agua sanitaria.
B3. Incertidumbre sobre el uso de la tecnología por los requerimientos de modelamiento y calibración que se requiere.	Importante	M3. Desarrollo de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante <i>machine learning</i> para la reducción de fugas en las redes sanitarias
B4. Falta de personal fiscalizador (SISS) a las empresas sanitarias sobre las pérdidas de agua.	Importante	M4. Desarrollo de una estrategia institucional que fortalezca el servicio de fiscalización a las empresas sanitarias, en la temática de pérdidas de agua.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Tecnología 2. Reutilización de agua residual urbana

### 2.2.1. Descripción de la tecnología

Hace referencia al aprovechamiento del agua residual posterior a su tratamiento. En ese sentido, se debe diferenciar la regeneración con la reutilización de aguas residuales. La regeneración se refiere al proceso de tratamiento por el cual las aguas residuales pueden reusarse, mientras que la reutilización es el proceso posterior, mediante el cual estas aguas tratadas pueden utilizarse en diferentes ámbitos.

Para que el agua residual tratada sea utilizada o aprovechada, es necesario establecer una planificación y un marco habilitante adecuado [4]. A continuación, se detallan cada uno de los componentes necesarios dentro de este marco habilitante.

**Figura 3. Componentes requeridos dentro del marco habilitante del reúso de aguas residuales tratadas**



Fuente: Donoso & Rivera (2020) [4]; Fundación Chile (2016) [19].

En complemento, el Box 2 presenta los pasos a tomar en cuenta a los actores que pretendan implementar esta tecnología.

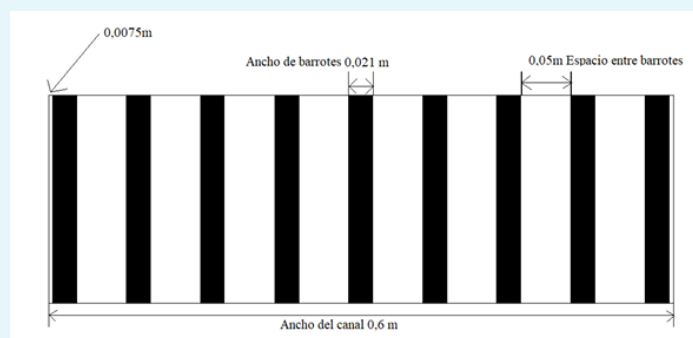
### Box 2. Características operativas de la puesta en marcha de la tecnología 2

El proceso de tratamiento de agua residual consta de las siguientes etapas, [20].

- **Pretratamiento:** El objetivo es la eliminación de sólidos gruesos y otros materiales grandes que a menudo se encuentran en las aguas residuales crudas. Es necesario para mejorar el funcionamiento y el mantenimiento de las unidades de tratamiento posteriores. Las operaciones de tratamiento preliminar generalmente incluyen un cribado grueso, remoción de arena y, en algunos casos, trituración de objetos grandes.

Se propone como pretratamiento un canal con un aliviadero lateral y una reja de grava.

Figura 4. Croquis de un modelo de enrejado para el pretratamiento

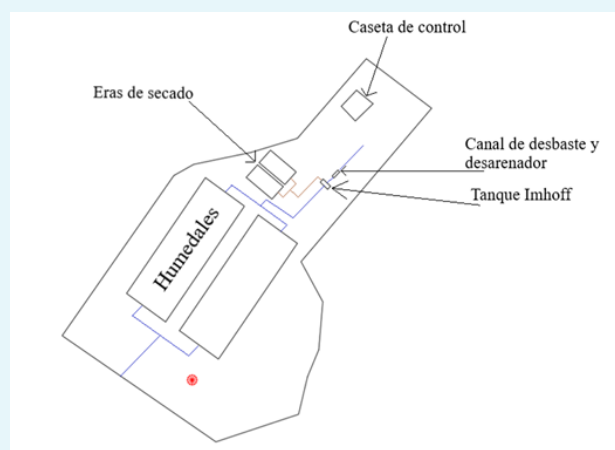


- **Tratamiento primario:** El tratamiento primario es diseñado para eliminar sólidos orgánicos e inorgánicos a través de procesos físicos de sedimentación, coagulación y flotación. Alrededor del 25-50% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) entrante, el 50-70% del total de sólidos suspendidos (SS) y el 65% de aceite y grasa se remueven del agua mediante el tratamiento primario.

Los tratamientos comúnmente utilizados en el caso de aglomeraciones urbanas pequeñas son: Fosas sépticas, Tanques Imhoff y Decantadores primarios. Dado que el tipo más común de tratamiento de agua tratada en Chile son las fosas sépticas, se sugiere aplicar este método, ya sea bajo tanques ya instalados o instalación de nuevos.

- **Tratamiento secundario:** Durante el tratamiento secundario la degradación de los compuestos orgánicos existentes en el agua residual procedente del tratamiento primario es efectuada únicamente por procesos biológicos. Por medio de los cuales la materia orgánica finamente seccionada y/o disuelta se transforma en sólidos sedimentables floculantes que pueden ser removidos por sedimentación en tanques de decantación. Estos tratamientos biológicos tienen una eficiencia de remoción del DBO del 85% al 95%.

Figura 5. Modelo de croquis de la instalación final



#### Consideraciones para el diseño de los humedales:

Para el diseño de humedales se deben considerar los siguientes criterios:

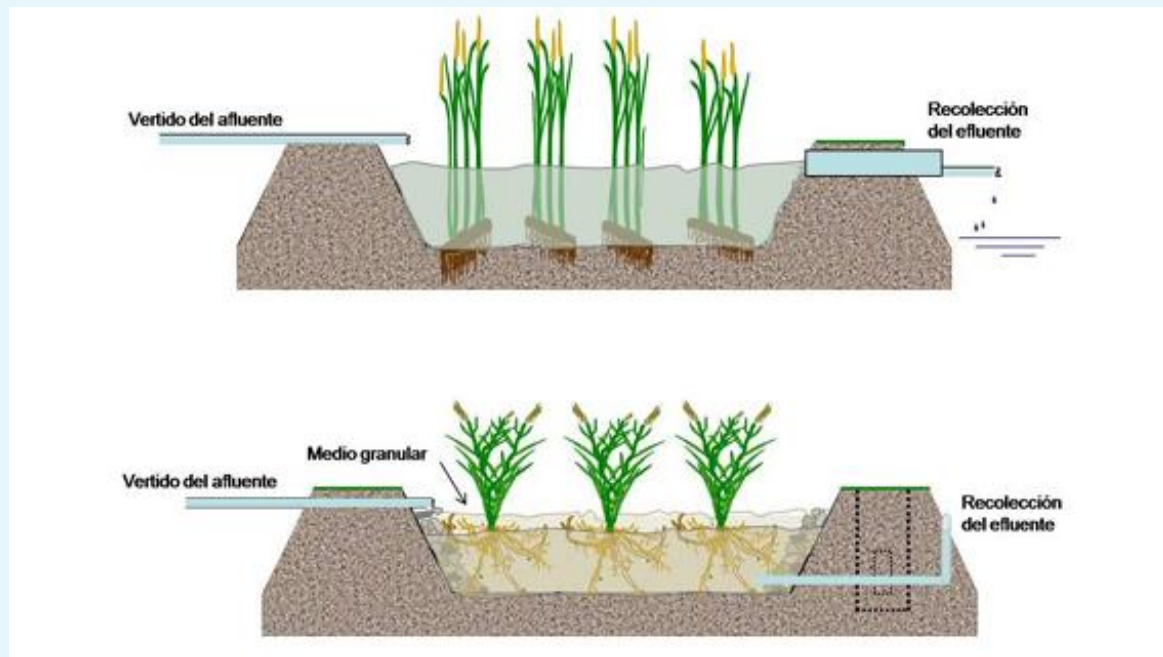
## Box 2. Características operativas de la puesta en marcha de la tecnología 2

1. Se consideran reactores biológicos.
2. Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
3. La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.
4. Determinación de la vida útil.

Existen dos tipos de humedales de flujo subsuperficial:

- Humedal subsuperficial de flujo horizontal.
- Humedal subsuperficial de flujo vertical.

Figura 6. Humedal artificial horizontal con flujo superficial y con flujo subsuperficial.



La selección del tipo de humedal dependerá de la población del área del piloto, la caracterización del agua residual, la geografía del lugar, las condiciones climáticas, etc.

### A. Justificación

Chile es uno de los países con mayor avance en materia de tratamiento de aguas en comparación con otros países de Latinoamérica con cerca del 99% de las aguas servidas tratadas. De acuerdo con lo documentado por la Universidad de Chile, para 2021 el país contaba con 301 plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR que operaban más de 1.238 millones de m<sup>3</sup> de aguas servidas anualmente [21].

Del total de agua tratada solo el 5,8% se reutiliza ya sea en riego u otras actividades planificadas, sin embargo, el otro 94,2% se descarga en cuerpos de agua superficiales, continentales o marinos [21]. Esto evidencia la necesidad de avanzar hacia un modelo donde el agua residual tratada sea considerada como un recurso aprovechable y que puede reducir la escasez hídrica.

Además, esta práctica debe formar parte integral de las estrategias y planes nacionales de manejo del agua, llevándose a cabo de manera segura para la salud de la población y sin dañar el entorno ambiental. Lograr esto demanda el establecimiento de un marco legal y regulador (incluyendo políticas

públicas, estándares, incentivos y modelos de negocio) que promueva activamente la implementación de dicho aprovechamiento [4].

Si bien existe una ley que regula la recolección y disposición de aguas grises (Ley N° 21.075), así como normativa relacionada a los límites máximos de concentración que deben cumplir los efluentes para su descarga en cuerpos de agua superficiales (DS N° 90/2000), se requiere establecer dentro de los instrumentos de planificación y desarrollo del territorio estrategias que hagan efectivo el reúso de aguas servidas tratadas (AST) disponibles [10].

Por otro lado, aunque la SISS trabaja por el fomento del reúso de aguas residuales servidas dentro del ciclo sanitario y en algunas actividades económicas tales como la agricultura y la minería [22], aún es importante llevar a cabo un diagnóstico sobre otros actores, públicos o privados, que puedan verse beneficiados por el reúso de aguas residuales tratadas, con el fin de establecer propuestas para que la reutilización del recurso pueda implementarse con mayor efectividad y cohesión institucional.

## **B. Avances de implementación**

En Antofagasta, la PTAR local trata un caudal promedio de 86.400 m<sup>3</sup>/día a nivel primario para cumplir con la normativa vigente de descarga, mientras que 10.368 m<sup>3</sup>/día (del total) son tratados a nivel secundario para el cumplimiento de la calidad demandada por las industrias de cobre y zinc<sup>6</sup> que reúsan esta agua residual tratada [23]. También en la misma región, en 2019 ingresó al Servicio de Evaluación Ambiental (SEIA) una declaración de impacto ambiental (DIA), para el establecimiento de una planta de tratamiento de aguas servidas con una capacidad de hasta 1500 l/s al día, cuyo uso final se destinaría a riego [10].

En otras regiones como Tarapacá, aquellas localidades ubicadas en la pampa, donde el transporte de las AST genera costos elevados para su descarga por cuenta de la distancia a cuerpos de agua receptores, la totalidad del volumen de aguas tratadas se utiliza en el riego de cultivos de forraje, pimiento y tamarugos. Las localidades donde se lleva a cabo esta práctica son: Pozo Almonte, Huara, Pica y La Tirana. [10]

Por otro lado, también se puede mencionar la PTAR Farfana y Mapocho, donde la mayor parte de sus aguas residuales tratadas se destinan a agricultura, otra parte abastece una central hidroeléctrica y una porción más pequeña se entrega a una empresa minera mediante camiones [23].

Finalmente, la SISS ha avanzado en estrategias para promover el reúso de aguas servidas tratadas, en línea con la meta institucional al 2030, en la que se establece que para ese año por lo menos el 30% de aguas residuales que son descargadas en el mar serán reusadas. Para ello, se plantea el desarrollo de intercambios denominados SWAPS<sup>7</sup>, en el que las empresas de determinadas actividades económicas entregan derechos de agua limpia por el uso de aguas servidas tratadas. De este modo, se prioriza el uso del agua natural para el consumo humano [22].

---

<sup>6</sup> Las aguas servidas tratadas son reusadas en la zona industrial de La Negra, donde tienen sede las empresas de fabricación de productos de cobre y zinc, como SQM y Xtrata, principales consumidores del agua de reúso.

<sup>7</sup> Se refiere a un sistema de gestión en que el agua es tratada para ser destinada a consumo humano y, a cambio, el agua residual tratada se destina a actividades productivas.

## 2.2.2. Análisis de barreras

### 2.2.2.1. Economía

#### A. Costos superiores en comparación a otras fuentes tradicionales

Se ha registrado que para el proyecto de reutilización de agua residual tratada por la PTAR de Antofagasta<sup>8</sup>, el costo de agua residual tratada se vende a un precio similar al del agua potable pero más del triple respecto a la extracción de aguas subterráneas. En ese sentido, podría resultar difícil motivar a las industrias a realizar un cambio de fuente hídrica si no se generan los incentivos adecuados para optar por esta alternativa [24].

BID identificó que algunos proyectos han optado por poner a disposición de los usuarios el uso gratuito del agua residual tratada. Aunque esta decisión podría fomentar su reúso, también es un riesgo a la sostenibilidad financiera de los proyectos.

Por otro lado, se concluyó en un estudio que las tarifas deberían ser significativamente menores en comparación con las de agua potable si los usuarios finales le darían un uso agrícola, puesto que su voluntad de utilizar el agua regenerada estaba fuertemente motivada por la diferencia de precios entre el agua convencional y la regenerada [25].

#### B. Dificultad para cuantificar las externalidades positivas de un proyecto

La aparente falta de rentabilidad de los proyectos de reutilización de aguas residuales se debe, en parte, a la metodología de evaluación utilizada. Una evaluación exclusivamente desde la perspectiva del sector privado que solo considera los costos y beneficios directos del proyecto, por lo general, no resulta rentable. Sin embargo, los proyectos de reutilización de aguas residuales conllevan una serie de "beneficios económicos" difíciles de evaluar, como la reducción de la contaminación de fuentes de agua superficiales, subterráneas y marítimas, la protección de los ecosistemas acuáticos, la liberación de recursos "frescos" o "limpios" para la producción de agua potable, y el aumento de la sostenibilidad de las actividades que se benefician de la reutilización a largo plazo al depender menos de la variabilidad hidrológica [26].

La dificultad de identificar y cuantificar los beneficios indirectos del proyecto, también conocidos como "externalidades positivas", no permite visualizar que estos sean igual o más relevantes que los beneficios directos. Al considerar los beneficios indirectos (sociales, ambientales y otros), los proyectos de reutilización de aguas residuales pueden lograr la tan buscada rentabilidad [25].

### 2.2.2.2. Institucionales, políticas y regulatorias

#### A. Dificultad para coordinar potenciales actores

Ampliar la utilización de las aguas residuales tratadas implica desafíos relacionados con la gestión y la economía. Se necesita mejorar la coordinación entre actores, por ejemplo, para el intercambio de aguas servidas tratadas por agua fresca, entre mineras y sanitarias y/o entre agricultura y sanitarias, o

---

<sup>8</sup> Tal es el caso de la asociación público – privada ECONSSA Chile y SEMBCORP Esta última se encuentra a cargo de la operación, mantenimiento y administración de la PTAR de Antofagasta que distribuye el agua residual tratada a la empresa portuaria de Antofagasta, Skanska Chile S.A., SQM y Xtrata.

para el intercambio de agua servida tratada en costa por agua fresca en cordillera, entre mineras y agricultura.

### **B. El marco regulatorio de las empresas sanitarias omite la reutilización del agua residual**

Como se describió en la subsección 2.1.2, el marco normativo aplicado a las empresas sanitarias establece una “empresa modelo” considerando que sus actividades comienzan en la etapa de captación del recurso hídrico y culminan cuando las aguas residuales tratadas se devuelven a un cuerpo de agua natural u océano. Siguiendo esta definición, las actividades enfocadas en la reutilización de las aguas residuales no se consideran dentro del concepto de “empresa modelo” por lo que no se incluyen en los planes de desarrollo de estas empresas [14].

En ese sentido, según Donoso y Rivera, la gestión, promoción, evaluación y control de la reutilización de aguas residuales tratadas han quedado sin regular, estando sujetas a algunas normativas dispersas presentes en las leyes generales relacionadas con el agua y el sector sanitario o ambiental. Como resultado, la reutilización se ha llevado a cabo de manera informal hasta ahora, sin el respaldo de un marco regulatorio institucional y financiero que establezca, fomente y supervise adecuadamente este tipo de recurso hídrico complementario [4].

Según el BID, es uno de los retos más complejos identificados debido a que representa un gran obstáculo para muchos proyectos. La falta de respaldo institucional dificulta establecer metas, así como la operación de las plantas de tratamiento y el control adecuado de los parámetros de descarga de las aguas residuales.

### **C. Ausencia de una normativa jurídica que establezca la propiedad sobre las aguas residuales tratadas**

Teniendo en consideración que no se cuenta con una normativa que establezca un marco para la reutilización de aguas residuales tratadas, se ha generado una disyuntiva respecto a la propiedad sobre las aguas residuales tratadas. En la actualidad, existe un debate entre dos posiciones: (i) Las empresas sanitarias pueden disponer de las aguas residuales tratadas, pues son sus propietarias; y (ii) Las empresas sanitarias no son dueñas de las aguas residuales tratadas, debiendo restituir al cauce correspondiente las aguas sobrantes del proceso sanitario pues terceros, aguas abajo, podrían tener derecho a emplearlas. Esto ha provocado que no exista una adecuada coordinación entre actores para el desarrollo de proyectos de reutilización [27].

## **2.2.2.3. Ambientales**

### **A. Falta establecer estándares para la calidad del agua residual tratada que serán reusada**

Las emisiones de aguas tratadas carecen de criterios establecidos que definan cuáles son los requerimientos respecto a su calidad ambiental. Existen dos razones que justifican esta situación: su uso diversificado en diversas industrias y actividades, y su implementación local, adaptándose a necesidades específicas lo que dificulta replicar su utilización en otros contextos. Esta falta de estándares de calidad para las descargas de aguas residuales tratadas incrementa la incertidumbre y limita la inversión en esta área [26].

### **B. Deficiente calidad del agua residual para ser reutilizada en proyectos**

En base al marco regulatorio aplicable a las empresas sanitarias, las actividades relacionadas con el incremento de la calidad del agua residual no son consideradas prioritarias por lo que quedan fuera de las necesidades de financiamiento y de los planes de desarrollo de las empresas [14].

### 2.2.3. Recomendaciones para levantar las barreras

En el análisis de causa-efecto para la tecnología de reutilización de aguas residuales (Ver Figura 12), se identificaron dificultades para asegurar la rentabilidad económica y técnica para la adopción de la tecnología como modelo de tratamiento de aguas residuales. Este efecto, surge principalmente como consecuencia de la ausencia de un marco regulatoria para las empresas prestadoras de servicios, una carencia de estándares que regulen el agua residual tratada y falta de estudios sobre valorización de las externalidades positivas de este tipo de proyectos.

Estas causas son resultado de 3 barreras y/o brechas presentadas en la Tabla 2Tabla 1, junto a la propuesta de sus potenciales medidas.

**Tabla 2. Recomendaciones para tratamiento de aguas residuales**

Barreras / brechas identificadas	Nivel de prioridad	Potencial medida
B1. Ausencia en el marco regulatorio de las empresas sanitarias de la correcta gestión de la cuenca y la reutilización de agua residual	Importante	M1. Fortalecimiento del marco regulador que establece la institucionalidad hídrica a nivel cuenca y territorios  M1. Fortalecimiento del marco regulatorio para que establezca la reutilización de agua residual
B2. Ausencia de estándares para la calidad del agua residual tratada	Importante	M2. Regulación del uso de la calidad de agua residual tratada y de sus estándares de cumplimiento de calidad ambiental
B3. Falta de estudios sobre la valoración de las externalidades positivas de un proyecto de reutilización de aguas residuales	Importante	M3. Fomento de estudios de factibilidad que evalúen las externalidades positivas de los proyectos para determinar la viabilidad de la reutilización de agua residual tratada urbana  M4. Fomento de la creación de redes o espacios de transferencias de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales

Fuente: Elaboración propia

## 2.3. Tecnología 3. Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

### 2.3.1. Descripción de la tecnología

La captación de aguas lluvias consiste en un conjunto de técnicas que permiten captar o desviar la precipitación de agua caída en un área determinada, para ser utilizada en la vida diaria de los hogares, los productores de zona áridas y en el riego de cultivos bajo invernaderos, huertas familiares y bebida animal.

Entre las técnicas existentes, se destacan los sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL), que se basan en la recolección de agua lluvias sobre los techos de las casas, desde donde se desvían hacia una cisterna de acumulación para su posterior aprovechamiento [28].

También existen variaciones de los SCALL en los que se despeja una extensión amplia del terreno abierto, generalmente en zonas altas como cerros para la captación del agua y se dispone de estructuras cubiertas de material impermeable tipo ladera para transportar el agua hacia equipos de acumulación como embalses o lagunas artificiales [28]. A continuación, se detallan cada uno de los componentes del sistema.

Figura 7. Componentes de un sistema de captación de aguas lluvias SCALL



Fuente: Pizarro et al. (2015). [28]

En complemento, el Box 3 presenta los pasos a tomar en cuenta a los actores que pretendan implementar esta tecnología.

#### Box 3. Características operativas de la puesta en marcha de la tecnología

Según el Manual de diseño y construcción de SCALL en zonas rurales de Chile del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y El Caribe, la construcción de un sistema SCALL deberá considerar los siguientes pasos:

- **Selección de sitios:** previamente se ha identificado como un territorio óptimo a la macrozona centro-sur de Chile, por sus características de ruralidad y disponibilidad de agua de lluvia. Complementariamente, desde un punto de vista social se debe evaluar la superficie de la comuna y la población involucrada. Para una comuna, un primer criterio de selección corresponde a los sectores en donde el Municipio hace entrega de agua con camión aljibe e interviene en el territorio a través del Programa de Desarrollo Local PRODESAL. Para ello, es necesaria una estrecha relación con el Municipio y los equipos técnicos que conforman cada unidad operativa del Programa, como también con el Departamento de Fomento y las unidades de emergencia de cada institución.

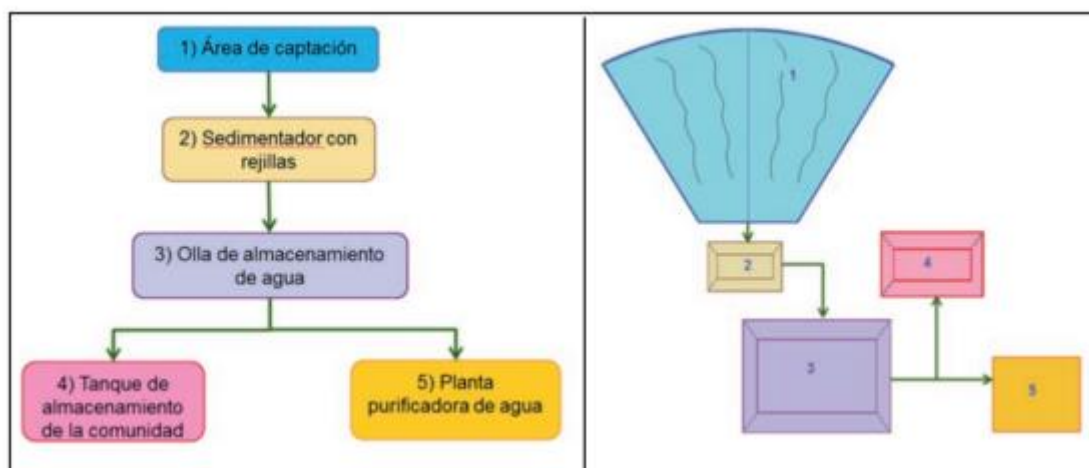
Otro criterio es la accesibilidad del lugar y espacios disponibles para la construcción de esta obra, así como el compromiso con la mantención del SCALL por parte de la comunidad.

- **Caracterización hidrológica de los sitios:** a partir de este análisis se podrá definir la real capacidad de abastecimiento de agua, en función de las necesidades que una determinada zona posea.

- Diseño hidrológico de las obras del SCALL:** este sistema consta de 3 partes: área de captación, sistema de conducción y cisterna de acumulación.
  - Área de captación:** Esta parte de la estructura debe ubicarse idealmente en una ladera desprovista de vegetación, donde cumple la función de capturar el agua proveniente de la lluvia. Para ello, esta área se impermeabilizará y sus dimensiones dependerán de la precipitación de diseño, del coeficiente de escorrentía asociado al material impermeabilizado (geomembrana u hormigón) y del volumen de agua que se quiera almacenar.
  - Sistema de conducción:** conduce por diferencia de gravedad el agua captada desde la superficie impermeabilizada hasta la cisterna de acumulación. Puede incluir un sistema de decantación de sedimentos para almacenar agua más limpia. Por ejemplo, existen métodos artesanales simples, como colocar en la boca del tubo conductor una rejilla plástica, que filtra e impide la entrada de sedimentos al estanque acumulador.
  - Cisterna de acumulación:** Corresponde al depósito donde se almacena el agua y su volumen depende del área de captación de la ladera, la precipitación del área y el coeficiente de escorrentía que depende del tipo de material seleccionado.

A continuación, se detalla un esquema general del proceso SCALL.

Figura 8. Esquema de SCALL Comunitario



Dependiendo de las características específicas del proyecto, se puede incluir o no el tanque de almacenamiento de la comunidad (4) y la planta purificadora (5).

- Selección de materiales y construcción:** El objetivo principal de esta etapa es determinar los materiales idóneos para la construcción desde el punto de vista de su calidad, inocuidad y los costos asociados, de manera de asegurar una calidad de agua óptima para los usos que se pretenden, por ejemplo, el riego de cultivos y uso en hogares.

Algunos elementos importantes por considerar en la elección de los materiales de construcción, tanto del área de captación como para el área de acumulación, son la accesibilidad a los predios, la disponibilidad de mano de obra, la maquinaria disponible, la presencia de áridos y el volumen de acumulación.

## A. Justificación

El incremento poblacional significa un aumento en la demanda de agua, tendencia que se configura como un desafío para los países que hoy en día ya sufren condiciones de escasez hídrica en el territorio, como Chile. La escasez hídrica, especialmente en zonas rurales, intensifica la urgencia de asegurar el abastecimiento de agua potable a las poblaciones, por lo que se ha recurrido al reparto de agua mediante el uso de camiones aljibe, solución que representa altos costos mensuales para los gobiernos regionales [28]. Es el caso de la región de Los Ríos, que para el primer trimestre del 2023 registró un total de 280 millones de pesos para el abastecimiento de sectores rurales mediante camiones aljibe [29].

Por lo anterior, la implementación de SCALL se presenta como una alternativa que permite ampliar la disponibilidad del recurso hídrico especialmente en aquellos puntos aislados con dificultades en el acceso a agua potable.

Además, la implementación de la tecnología podría favorecer otros aspectos como:

- **Ahorros en el consumo de agua:** La tecnología puede tener una amplia distribución tanto en zonas rurales como urbanas, lo que facilitaría el aprovechamiento de agua lluvia en labores cotidianas y significaría, además, ahorros en el consumo de agua facturada [28].
- **Adaptación al cambio climático:** Los SCALL serán de gran ayuda al proporcionar reservas de agua, especialmente valiosas durante periodos de sequías prolongados y escasez hídrica, que se intensificarán por cuenta del cambio climático.

De acuerdo con la plataforma City Adapt<sup>9</sup> [30] los sistemas de captación de aguas lluvias son considerados una alternativa de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) que ayudan a mitigar los riegos relacionados a los cambios en los patrones de lluvia, sequías y el incremento de temperaturas.

Según las proyecciones para el país en la plataforma de riesgos climáticos ARClím [31], durante el periodo futuro 2035-2065, las regiones más afectadas por una disminución significativa en la precipitación durante el verano serán aquellas ubicadas en el centro del país, es decir, desde Valparaíso hasta Los Lagos. De manera similar, estas regiones experimentarán un aumento en la frecuencia de sequías.

Dado este panorama, la implementación de esta tecnología, especialmente en las regiones mencionadas, ayudaría a reducir los impactos de la escasez de hídrica proyectada en diversos medios, incluyendo la seguridad hídrica de las comunidades y las actividades rurales como la agricultura y la ganadería. Esto se lograría al asegurar fuentes de abastecimiento de agua durante estos periodos críticos.

## **B. Avances de implementación**

Respecto a los SCALL, aún es necesario avanzar hacia una normativa y políticas públicas que permitan y promuevan el uso de fuentes alternativas de agua como la cosecha de agua lluvia [32]. En contraste, se han desarrollado una serie de proyectos que han implementado exitosamente los sistemas de captación de agua de lluvia tales como: el proyecto de educación ambiental “Un alto en el desierto”; experiencias desarrolladas desde el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) para enfrentar la escasez de agua en pequeña agricultura; programas financiados por INNOVA CORFO, los gobiernos regionales, entre otros [33].

Adicionalmente, se destacan los esfuerzos realizados por el Instituto de Desarrollo Agropecuario INDAP en las regiones de Magallanes y Chiloé, donde se registraron inversiones de \$23.400.000 y \$84.000.000, respectivamente, para la instalación de SCALL. En el caso de Chiloé, la inversión fue destinada a la compra de guateros para el almacenamiento de aguas lluvias que permitieran a los agricultores contar con agua disponible para fines productivos como el riego de cultivos y bebida

---

<sup>9</sup> City Adapt es una iniciativa del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés), en la que mediante una serie de proyectos de adaptación se busca incrementar la resiliencia de las ciudades mediante la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN).

animal. Por su parte, en Magallanes la inversión se destinó a la adquisición de estanques de geomembrana para almacenar aguas lluvias y contar con agua disponible para el riego de cultivos en posteriores épocas de sequía [34]; [35].

## **2.3.2. Análisis de barreras**

### **2.3.2.1. Económicas y financieras**

#### **A. Incremento en los costos de instalación debido a que las casas no están habilitadas para los SCALL**

Los costos de instalar un SCALL en una casa ya construida podrían resultar más altos en comparación si se tuviera en consideración dicho sistema desde el diseño de la vivienda. Considerando que la mayoría de los techos de las casas no se construyeron con el propósito de captar agua, pueden presentar una gran variedad de características que dificulten la instalación de SCALL. Por ejemplo, las superficies con una pendiente superior al 20% generan que el flujo del agua aumente y disminuya la tasa de captación. Sin embargo, en el caso de cubiertas con pendiente cercana a 0°, los estancamientos se presentan con frecuencia y puede generar acumulación de residuos o proliferación de mosquitos [36]. Esto podría ocasionar que los sistemas sean más complejos y requieran la instalación de canaletas, las cuales con frecuencia acumulan obstrucciones que amenazan con provocar pérdidas y contaminar el agua [37].

### **2.3.2.2. Institucionales, políticas y regulatorias**

#### **A. Falta de una gobernanza fuerte en el sector recursos hídricos**

Considerando la estructura institucional del sector agua y de otros sectores que, directa o indirectamente, se relacionan con los recursos hídricos en el país, existen más de 53 instituciones que permiten, limitan o influyen en el uso del agua. Esto ha generado que el principal problema a nacional no sea la sequía, sino la gobernanza actual que no tiene una visión colectiva de las necesidades de los distintos actores en el país, sino una visión individualista.

En ese sentido, existe un consenso entre los actores políticos por reducir la excesiva institucionalidad del sector recursos hídricos, por lo que se están desarrollando los consejos de cuenca. Estos se definen como organismos formales de gestión hídrica de conformación público-privada, con participación de todos los actores de la cuenca, tengan o no titularidad de derechos de agua. Sin embargo, aún son organismos piloto por lo que sus resultados serían apreciables a largo plazo.

#### **B. Falta de sinergias entre actores para la gestión del recurso hídrico**

Teniendo en cuenta el gran número de actores con responsabilidades sobre el uso de agua, es de esperar que estos entren en competencia o presenten conflictos en temas tales como: definición de prioridades y objetivos, asignación de recursos, definición de criterios técnicos, asignación de responsabilidades, etc. En ese sentido hay una débil coordinación entre los actores del estado, la academia y el sector del privado que limita el desarrollo de proyectos en gestión de recursos hídricos tales como los SCALL.

#### **C. Falta de promoción e incentivos para la implementación de SCALL**

En el contexto de la legislación chilena, existe una regulación limitada en cuanto al uso de aguas de lluvia. La Ley N° N°21.435 Reforma del Código de Agua, solo menciona la necesidad de priorizar planes

para hacer frente a necesidades futuras del recurso hídrico para el consumo humano. Donde se deberán priorizar soluciones basadas en la naturaleza, tales como la cosecha de aguas de lluvias. Sin embargo, no hay alguna referencia a la tecnología SCALL [38].

Asimismo, las normas reglamentarias relacionadas se encuentran dispersas entre diferentes materias y organismos, estando centradas en materias como la calidad de las aguas y la infraestructura para su captación. En ese sentido, el gran desafío es facilitar la aplicación de las normativas que regulan la autorización de los SCALL, y los estándares de funcionamiento para los sistemas de captación, principalmente, y apuntar hacia la promoción e incentivo de su uso en aquellos contextos que se identifiquen como más propicios para ello (Castillo et al., 2022) [39].

#### **D. Débil inclusión en los marcos regulatorios que regulen la captación de agua lluvia**

El marco regulatorio de Chile ha desarrollado débilmente la cosecha de agua en comparación con otros países que cuentan con avances en normas nacionales que hacen referencia a las condiciones básicas de funcionamiento de los SCALL, entre ellas, las características de los sistemas de almacenamiento y distribución, los estándares de calidad de agua y los usos autorizados para esta, como también, normas de incentivo para su uso.

Por ejemplo, EE. UU. cuenta con regulaciones que prevén la exención del impuesto sobre las ventas de los equipos de recogida de aguas lluvia. Así también, en materia de derecho de bienes, el Código de la Propiedad de Texas en su sección 202.007 impide que las asociaciones de propietarios prohíban las instalaciones de recogida de aguas lluvia. Además, a partir del año 2011, la Ley 3391 de la Cámara de Representantes de Texas exige que la tecnología de captación de agua de lluvia sea incorporada al diseño de los nuevos edificios del estado, estableciendo fuertes exigencias e incentivos a la incorporación de estos sistemas.

### **2.3.2.3. Socio culturales, informativas y de concientización**

#### **A. Las casas no están diseñadas eficientemente para la instalación de SCALL**

En otros países, existen regulaciones que exigen que los SCALL sean parte del diseño de los nuevos edificios que el estado va a construir. Sin embargo, en Chile no se cuenta con normativas similares por lo que los diseños de los sistemas de captación y distribución podrían complejizarse debido a que se requiere un mayor número de canaletas que permita el transporte del agua de lluvia.

#### **B. La implementación de tecnologías sustentables sin apoyo y acompañamiento estatal puede llevar a menores posibilidades de apropiación tecnológica**

Sannazzaro y Gajardo (2022) encontraron en la comuna de Chiloé que la mayoría de las mujeres que utilizaban las tecnologías sustentables implementadas por el Estado, exigían tener mayor acompañamiento y apoyo para poder potenciar el uso de estas. En muchas ocasiones, los técnicos y especialistas realizaban asesorías sin conocer realmente las necesidades, preocupaciones y prácticas de la población que asistían, por lo que la apropiación tecnológica era deficiente.

### **2.3.3. Recomendaciones para levantar las barreras**

En el análisis de causa-efecto para la tecnología de SCALL se identificó que existe poca apropiación tecnológica debido a la falta de promoción y apoyo a la población en zonas rurales para la captación de agua lluvia como respuesta ante el déficit hídrico. Este efecto se produce como consecuencia del

deficiente acompañamiento y apoyo de las entidades y servicios públicos con la población potencialmente beneficiaria, la carencia actual de proyectos en algunas regiones potenciales y el incremento de costos de instalación en espacios donde ya se encuentra una infraestructura previa. Estas causas tienen su origen en 5 barreras y/o brechas que se detallan a continuación en la Tabla 3, junto a la propuesta de sus potenciales medidas.

**Tabla 3. Recomendaciones para los sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL)**

Barreras / brechas identificadas	Nivel de prioridad	Potencial medida
B1. Débil inclusión en los marcos regulatorios que regulen la captación de agua lluvia	Importante	M1. Robustecimiento del marco regulador que establece el uso de agua para que preste prioridad al uso de agua lluvia como fuente de abastecimiento hídrica
B2. Poca capacidad técnica en los tomadores de decisiones regionales y locales	Importante	M2. Fortalecimiento de la capacidad técnica y acompañamiento a las municipalidades y gobierno regional por parte de las instituciones y servicios nacionales relacionados con agricultura, riego y recurso hídrico
B3. Falta de sinergias entre actores (públicos, academia y sociedad civil)	Importante	M3. Fortalecimiento de las sinergias entre diversos actores que permita una mayor implementación de los SCALL en zonas estratégicas
B5. Poca promoción e incentivos para la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)	Importante	M5. Promoción de la aplicación de los SCALL en las zonas potencialmente beneficiarias

Fuente: Elaboración propia.

## 3. Plan de Acción Tecnológico (PAT) para el sector Recursos Hídricos

### 3.1. Descripción general del sector

El sector de recursos hídricos presenta diversos desafíos tanto para el subsector agua potable urbana como para el subsector agua potable rural. Estos están relacionados con la sequía, la disponibilidad de agua, el acceso a agua potable en zonas rurales, pérdidas en la red de agua potable, entre otros.

En Chile, el 47,2% de la población rural carece de acceso al agua potable de manera formal y el 58,8% se abastece a través de pozos. Durante 2021, el porcentaje de aguas no facturadas (ANF) en los sistemas sanitarios alcanzó el 33,2%, según la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Para hacer frente a los 12 desafíos establecidos en el sector, se seleccionaron 3 categorías: tecnologías de gestión del riesgo, tecnologías de reúso de agua con fines domésticos, y tecnologías para el tratamiento y reutilización de aguas. Mediante un proceso participativo, se priorizó una tecnología por cada categoría para afrontar a estos desafíos tomando en cuenta el contexto chileno respecto a los recursos hídricos, las cuales son:

- **Tecnología 1:** Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua
- **Tecnología 2:** Reutilización de agua residual urbana
- **Tecnología 3:** Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

### 3.2. Ambición del PAT

La ambición del PAT responde a las metas de la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP). Por lo que la implementación de este instrumento de gestión contribuirá al cumplimiento de las metas climáticas del país en el sector de recursos hídricos.

Tabla 4. Alcance de la tecnología

Tecnología	Alcance	Metas de la ECLP	Ambición del PAT
Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua	De aplicación en el sector urbano de alcance comunal y/o regional. Cabe mencionar que no se hace referencia a las fugas que pueden ocurrir dentro de la infraestructura de un hogar sino en las redes de distribución de una ciudad.	Contribuir a que al 2030, el 90% de la población tendrá continuidad de servicio en eventos disruptivos.  Contribuir a que al 2030, se reduzca al menos en un 25% el volumen de aguas no facturadas.	Disminuir el porcentaje de cortes del servicio por reparaciones de tuberías por fugas de aguas.  Disminuir el porcentaje de volumen de aguas no facturadas por fugas en las empresas distribuidoras.
Reutilización de agua residual urbana	Hace referencia al uso de agua residual mediante distintas tecnologías de tratamiento de agua y las barreras que involucran actualmente su uso. Cabe mencionar que se consideró que su campo de	Contribuir a que al 2030 al menos un 20% de las aguas servidas que se descargan en cursos superficiales de agua estarán disponibles para su reutilización	Aumentar la cantidad de aguas residuales tratadas y la reutilización del 100% de dichas aguas para riego.

Tecnología	Alcance	Metas de la ECLP	Ambición del PAT
	aplicación sea tanto el sector rural como urbano a nivel regional.	Contribuir a que al 2030, el 100% de la población urbana tendrá acceso a servicios sanitarios.	Aumentar la cobertura del tratamiento de aguas residuales del 100% de la comunidad beneficiaria de la implementación de un proyecto del PAT.
Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)	La implementación de los sistemas de captación de aguas lluvias está enfocada en generar una fuente de agua para riego en zonas rurales y aisladas, considerando que pueda ser aplicada tanto a pequeña como a gran escala.	Contribuir a que al 2030, cada proyecto de infraestructura pública de recursos hídricos contemplará en su evaluación la consideración de una porción para atender demandas asociadas al consumo humano urbano y/o rural	Utilizar el 100% del agua capturada para el riego de familias agricultoras.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Acciones y actividades

En los capítulos anteriores se determinaron las principales barreras con respecto a la aplicación cada una de las tres tecnologías seleccionadas, así como su nivel de prioridad y las potenciales medidas para superarlas. El siguiente paso es identificar acciones generales y específicas a implementar por los sectores para superar dichas barreras.

#### 3.3.1. Tecnología 1. Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua

Para esta tecnología se identificaron 4 barreras principales, las medidas generales identificadas para superar dichas barreras son las siguientes:

- **Robustecimiento del marco regulatorio que permita establecer multas a la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua en la regulación, en respuesta a las metas de la NDC:** esta medida surge debido a que actualmente no se pueden establecer multas por el porcentaje de agua que se pierde en las redes de distribución. De esta manera, se realizará un análisis financiero y social sobre el nivel de pérdida óptimo de fugas en redes de distribución de agua, y se establecerá un marco fiscalizador y sancionador en relación con ese nivel de pérdida. Asimismo, se plantea la actualización de la DFL 70 del MOP para introducir el concepto de fugas de agua.
- **Fortalecimiento de alianzas público-privadas que favorezcan la inversión de la tecnología para la reducción de fugas de agua en los sistemas de red de agua sanitaria:** las empresas sanitarias no abordan todas las fugas de agua que detectan ya que no resulta rentable para ellas, por lo cual se ha planteado generar una mesa de diálogo para que las empresas sanitarias fijen compromisos relacionados a la reducción de fugas de agua y se plantee un APL (Acuerdo de Producción Limpia) para incentivar a estas empresas a incluir un sistema de detección y localización de fugas en sus redes de distribución.

- **Desarrollo de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning, incluyendo la captura de datos, para la reducción de fugas en las redes sanitarias:** la principal incertidumbre para aplicar esta tecnología es la limitada disponibilidad de datos la cual afecta en los procesos de calibración de datos, por dicho motivo, se realizará un diagnóstico de las necesidades de información y fortalecimiento de las EPS. De igual manera, se elaborará una guía técnica para apoyar a la implementación de la tecnología y se desarrollarán talleres para su difusión.
- **Desarrollo de una estrategia institucional que fortalezca el servicio de fiscalización a las empresas sanitarias, en la temática de pérdidas de agua:** esta medida se propuso debido a que no se cuenta con el personal necesario para fiscalizar a las empresas sanitarias, por lo cual se realizará un diagnóstico sobre las necesidades del personal de fiscalización en la SISS, se establecerá un sistema de reporte de fugas de agua de aplicación obligatoria para las empresas sanitarias y se brindarán capacitaciones técnicas.

A continuación, en la Tabla 5 se describen medidas, acciones generales y acciones específicas para las cuatro barreras identificadas para esta tecnología.

**Tabla 5. Actividades generales y específicas para la tecnología de Machine Learning para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua**

Barrera	Medidas	Acciones generales	Actividades específicas
B1. Omisión de “fugas de agua” dentro del marco regulatorio actual	M1. Robustecimiento del marco regulatorio que permita establecer a la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua en la regulación, en respuesta a las metas de la NDC	A1. Robustecer el marco regulatorio que permita establecer incentivos a la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua en la regulación, en respuesta a las metas de la NDC	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Análisis financiero y social del nivel de pérdida óptimo en fugas en redes de distribución de agua</li> <li>2. Actualización de la DFL 70 del MOP (Fijación de Tarifas de los servicios de agua potable y alcantarillado de aguas servidas) para incluir el concepto de fugas de agua en el modelo de empresa eficiente</li> <li>3. Establecimiento de un marco fiscalizador y sancionador para el cumplimiento de los niveles de pérdida óptimo establecidos para las fugas en redes de distribución de agua</li> </ol>
B2. Incertidumbre de la participación de las empresas prestadoras de servicios ante la nueva tecnología	M2. Fortalecimiento de alianzas público-privadas que favorezcan la inversión de la tecnología para la reducción de fugas de agua en los sistemas de red de agua sanitaria	A2. Fortalecer de alianzas público-privadas que favorezcan la inversión de la tecnología para la reducción de fugas de agua en los sistemas de red de agua sanitaria	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Generación de una mesa de diálogo con las empresas sanitarias para establecer compromisos para la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua</li> <li>2. Conformación de un Acuerdo de Producción Limpia (APL) que incentive a las empresas sanitarias la inclusión de un sistema de detección y localización de fugas en sus redes de distribución y su reducción</li> </ol>
B3. Incertidumbre sobre el uso de la tecnología por los requerimientos de modelamiento y calibración que se requiere	M3. Desarrollo de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning, incluyendo la captura de datos, para la reducción	A3. Desarrollar de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning, incluyendo la captura de datos, para	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diagnóstico de las necesidades de información de las empresas prestadora de servicios (EPS) para la implementación de esta tecnología</li> <li>2. Diagnóstico de las necesidades de fortalecimiento de equipos técnicos en las empresas prestadora de servicios (EPS) para la implementación de esta tecnología</li> </ol>

Barrera	Medidas	Acciones generales	Actividades específicas
	de fugas en las redes sanitarias	la reducción de fugas en las redes sanitaria	3. Elaboración de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning 4. Desarrollo de talleres de difusión de la tecnología, su implementación y beneficios en comparación a otras.
B4. Falta de personal fiscalizador (SISS) a las empresas sanitarias sobre las pérdidas de agua	M4. Desarrollo de una estrategia institucional que fortalezca el servicio de fiscalización a las empresas sanitarias, en la temática de pérdidas de agua	A4. Desarrollar una estrategia institucional que fortalezca el servicio de fiscalización a las empresas sanitarias, en la temática de pérdidas de agua	1. Diagnóstico de las necesidades de personal de fiscalización en el SISS 2. Establecimiento de un sistema de reporte obligatorio de fugas de agua en las empresas sanitarias 3. Desarrollo de cursos de extensión que brinden capacitaciones técnicas

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Tecnología 2. Reutilización de agua residual urbana

Para esta tecnología se identificaron 3 barreras principales, las medidas generales identificadas para superar dichas barreras son las siguientes:

- **Fortalecimiento del marco regulatorio para que establezca la reutilización de agua residual:** esta medida surge debido a que en el marco regulatorio de las empresas sanitarias se omite la reutilización del agua residual, por este motivo, se implementará una normativa para que se pueda reutilizar el agua residual de manera formal.
- **Regulación del uso de la calidad de agua residual tratada y de sus estándares de cumplimiento de calidad ambiental:** esta medida surge debido a la falta de estándares para la calidad del agua residual tratada que será reusada, lo cual limita la inversión en proyectos de esta naturaleza. En ese sentido, se establecerá una norma donde se defina los estándares para la calidad de agua residual tratada según los usos esperados y se desarrollará una mesa de trabajo para capacitar sobre la aplicación de la normativa.
- **Fomento de estudios de factibilidad que evalúen las externalidades positivas de los proyectos para determinar la viabilidad de la reutilización de agua residual tratada urbana:** la medida surge respecto a que no existen suficientes estudios que cuantifiquen las externalidades positivas en los proyectos de reutilización de aguas residuales. Esto debido a la dificultad de identificar y cuantificar los beneficios indirectos que ofrecen los proyectos. Por esta razón, se elaborarán lineamientos para la cuantificación de externalidades positivas, se identificarán sinergias entre las empresas de tratamiento de agua residual y sus posibles beneficiarios, así como un diagnóstico de los principales desafíos para realizar las sinergias.
- **Fomento de la creación de redes o espacios de transferencias de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales:** esta medida al igual que la anterior, se relaciona con la reducida disponibilidad de estudios que identifiquen las externalidades positivas de este tipo de proyectos. Por este motivo, se desarrollarán foros públicos donde se

facilite la transferencia de conocimientos entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión. Así como se desarrollarán materiales didácticos para conocimiento de la ciudadanía sobre el uso de agua residual tratada.

A continuación, la Tabla 6 describe las medidas, acciones generales y acciones específicas para las tres barreras identificadas para esta tecnología:

**Tabla 6. Actividades generales y específicas de la tecnología reutilización de agua residual urbana**

Barrera	Medidas	Acciones	Actividades
B1. Ausencia en el marco regulatorio de las empresas sanitarias acerca de la reutilización de agua residual	M1. Fortalecimiento del marco regulatorio para que establezca la reutilización de agua residual	A1. Fortalecer el marco regulatorio para formalizar y fomentar la reutilización de agua residual	1. Identificación de las zonas de Chile en que resulte beneficioso la reutilización de agua residual
			2. Actualización de la DFL 70 del MOP para incluir el concepto de reutilización de agua residual en el modelo de empresa eficiente
			3. Implementación de una normativa que establezca el rol de propiedad sobre las aguas residuales tratadas
B2. Ausencia de estándares para la calidad del agua residual tratada	M2. Regulación del uso de la calidad de agua residual tratada y de sus estándares de cumplimiento de calidad ambiental	A2. Regular del uso de la calidad de agua residual tratada y de sus estándares de cumplimiento de calidad ambiental	1. Establecimiento de una norma que defina los estándares para la calidad de agua residual tratada, según el sector que la va a reutilizar
			2. Difusión de la normativa y la importancia de su aplicación
			3. Desarrollo de una mesa de trabajo para la capacitación de la aplicación de la normativa
B3. Falta de estudios sobre la valoración de las externalidades positivas de un proyecto de reutilización de aguas residuales	M3. Fomento de estudios de factibilidad que evalúen las externalidades positivas de los proyectos para determinar la viabilidad de la reutilización de agua residual tratada urbana	A3. Fomentar de estudios de factibilidad que evalúen las externalidades positivas de los proyectos para determinar la viabilidad de la reutilización de agua residual tratada urbana	1. Elaboración de lineamientos para la cuantificación de externalidades positivas de la reutilización de agua residual tratada
			2. Identificación de sinergias entre empresas de tratamiento de agua residual y posibles beneficiarios
			3. Diagnóstico de los principales desafíos que permitan llevar a cabo las sinergias identificadas
			4. Desarrollo de un piloto de reutilización de agua residual tratada a escala local / comunal para la cuantificación de externalidades de acuerdo con la metodología desarrollada y los desafíos identificados
			5. Difusión de los resultados de factibilidad del piloto implementado que incluya la cuantificación de las externalidades en base a la metodología elaborada a nivel ciudadanía
			6. Difusión de los lineamientos para la cuantificación de externalidad positivas

	<p>M4. Fomento de la creación de redes o espacios de transferencias de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales</p>	<p>A4. Fomentar de la creación de redes o espacios de transferencias de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales</p>	<p>1. Desarrollo foros públicos que permitan la transferencia de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales, el uso de tecnología y sus beneficios</p> <p>2. Desarrollo de materiales didácticos para la ciudadanía que permita cerrar las brechas de desconocimiento y temor del uso de agua residual tratada</p>
--	---	--	--

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.3. Tecnología 3. Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

Para esta tecnología se identificaron 3 barreras principales, las medidas generales identificadas para superar dichas barreras son las siguientes:

- **Robustecimiento del marco regulador para que preste prioridad al uso de agua lluvia como fuente de abastecimiento hídrica:** esta medida surge debido a que existe una débil inclusión de la captación de agua lluvia en los marcos regulatorios. Debido a esto, se reconocerá la importancia del uso de agua lluvia y se fortalecerá la normativa reglamentaria para el funcionamiento de los SCALL.
- **Fortalecimiento de la capacidad técnica y acompañamiento a las municipalidades y gobierno regional por parte de las instituciones y servicios nacionales relacionados con agricultura, riego y recurso hídrico:** esta medida surge frente a la identificación de una poca capacidad técnica en los tomadores de decisiones regionales y locales, por este motivo, se desarrollará un programa de asesoría técnica a los miembros de los consejos de cuenca y se les brindará capacitaciones sobre la importancia y uso de la tecnología SCALL.
- **Fortalecimiento de las sinergias entre diversos actores que permita una mayor implementación de los SCALL en zonas estratégicas:** existe un gran número de actores que poseen responsabilidades sobre el uso de agua, sin embargo, hay una deficiente articulación entre ellos. Por ello, se planteó la identificación de sinergias entre los actores, se establecerá alianzas para la integración de SCALL y se desarrollará un programa donde se brinde asesoría técnica y capacitación a la población sobre el uso adecuado de la tecnología.
- **Promoción de la aplicación de los SCALL en las zonas potencialmente beneficiarias:** esta medida surge debido a la falta de promoción e incentivos para la implementación de SCALL, por lo cual se identificará programas de subvenciones y fondos aplicables, se desarrollarán campañas de difusión de las fuentes de financiamiento que se encuentren disponibles y se desarrollará políticas de incentivo por la instalación de SCALL.

A continuación, en la Tabla 7 se describen medidas, acciones generales y acciones específicas para las cuatro barreras identificadas para esta tecnología.

**Tabla 7. Actividades generales y específicas de la tecnología sistema de captación de agua de lluvia (SCALL)**

Barrera	Medidas generales	Acciones generales	Actividades específicas
<p>B1.1 Débil inclusión en los marcos regulatorios que regulen la captación de aguas lluvias</p> <p>B1.2 Poca capacidad técnica en los tomadores de decisiones regionales y locales</p>	<p>M1.1 Robustecimiento del marco regulador que establece el uso de agua para que preste prioridad al uso de agua lluvia como fuente de abastecimiento hídrica</p> <p>M1.2 Fortalecimiento de la capacidad técnica y acompañamiento a las municipalidades y gobierno regional por parte de las instituciones y servicios nacionales relacionados con agricultura, riego y recurso hídrico</p>	<p>A1.1 Robustecer el marco regulador que establece el uso de agua para que preste prioridad al uso de agua lluvia como fuente de abastecimiento hídrica</p> <p>A1.2 Fortalecer la capacidad técnica y acompañamiento a las municipalidades y gobierno regional por parte de las instituciones y servicios nacionales relacionados con agricultura, riego y recurso hídrico</p>	<p>1. Identificación y análisis de las zonas de Chile en que resulte más beneficioso la implementación de SCALL</p>
			<p>2. Reconocimiento del valor y la importancia del uso de agua lluvia dentro del marco regulador existente (Código de Aguas)</p>
<p>B2. Falta de sinergias entre actores (públicos, academia y sociedad civil)</p>	<p>M2. Fortalecimiento de las sinergias entre diversos actores que permita una mayor implementación de los SCALL en zonas estratégicas</p>	<p>A2. Fortalecer sinergias entre diversos actores que permita una mayor implementación de los SCALL en zonas estratégicas</p>	<p>3. Establecimiento de una normativa reglamentaria común que establezca los requerimientos básicos para el funcionamiento de los SCALL</p>
			<p>4. Desarrollo de un programa de asesoría técnica y capacitación a los miembros de los consejos de cuenca sobre la importancia y uso de la tecnología SCALL</p>
			<p>1. Identificación de sinergias que pueden realizarse entre los actores de un entorno local relacionados a la implementación de proyectos de SCALL</p>
			<p>2. Establecimiento de alianzas entre la sociedad civil, instituciones públicas, y/o privadas para la inserción e instalación de SCALL</p>
<p>B3. Poca promoción e incentivos para la implementación de sistemas de captación de aguas lluvias (SCALL)</p>	<p>M3. Promoción de la aplicación de los SCALL en las zonas potencialmente beneficiarias</p>	<p>A3. Promover la aplicación de los SCALL en las zonas potencialmente beneficiarias</p>	<p>3. Desarrollo de un programa de asesoría técnica y capacitación a la población que brinde atención personalizada incluyendo visitas a campo y seguimiento continuo para asegurar el uso adecuado de la tecnología y de los beneficios esperados con un enfoque territorial, de género e intercultural</p>
			<p>4. Instalación de SCALL en las zonas de Chile donde resulta beneficioso su implementación.</p>
			<p>1. Análisis financiero de tipos de proyectos SCALL de acuerdo con la escala y lugar de implementación</p>
			<p>2. Identificación de programas de subvenciones y fondos nacionales y/o internacionales aplicables</p>
			<p>3. Modelo de gestión: sostenibilidad financiamiento (mantenimiento y funcionamiento), gobernanza, gestión</p>
<p>4. Campañas de difusión de las fuentes de financiamiento disponibles y beneficios potenciales de los SCALL con un enfoque territorial, de género e intercultural</p>			
<p>5. Desarrollo de políticas de incentivo a la instalación de SCALL para satisfacer necesidades básicas y de subsistencia</p>			

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Mapeo de actores para la implementación del TAP

El mapeo de actores se realizó en base a la información de las tres tecnologías priorizadas y las instituciones que emitieron comentarios en la revisión de actividades propuestas para el Plan de Acción Tecnológico del sector recursos hídricos. Los principales actores necesarios para la implementación del PAT son los siguientes:

- **Sociedad civil:** Se encuentra conformada por agricultores, población que se verá beneficiada por la seguridad hídrica que ofrece.
- **Sector privado:** Empresas sanitarias podrían apoyar fijando metas de reducción de pérdidas de agua. Asimismo, se podría impulsar la reutilización de aguas residuales con el apoyo de un marco regulatorio. Este actor se puede encargar de las Tecnologías 1 y 3.
- **Gobiernos regionales:** Financia proyectos relacionados con la escasez de agua en pequeña agricultura. Este actor se puede encargar de la Tecnología 2.
- **CORFO:** Financia proyectos relacionados a la escasez de agua en pequeña agricultura. Además, existen iniciativas de CORFO que tienen dentro de sus ejes de desarrollo la confección de Guías Técnicas y/o Protocolos en los diferentes ámbitos aplicados a la eficiencia y correcta gestión del recurso hídrico, incluyendo tecnología de detección de fugas (Riesgo de Pérdidas en Redes de Agua Potable - RiPRA). Este actor se puede encargar de la Tecnología 1 y 2.
- **SISS:** Vela por el fomento del reúso de aguas residuales servidas que se encuentren dentro del ciclo sanitario y también en actividades como la agricultura y la minería. Apoya en el logro de la meta institucional a 2023, en el cual se establece que para ese año al menos el 30% de aguas residuales vertidas al mar serán reusadas. Aumentar el número de agentes para fiscalizar empresas sanitarias por fugas de agua. Este actor se puede encargar de las Tecnologías 1, 2 y 3.
- **ASCC:** Opera los Acuerdos de Producción Limpia con empresas privadas para la mejora de estándares socio ambientales. En este contexto, es posible utilizar los APL como instrumento voluntario para incluir mejoras en la gestión, como sería el caso de la disminución de fugas. Este actor se puede encargar de la Tecnología 1.
- **INDAP:** Financia proyectos relacionados con la instalación de SCALL. Este actor se puede encargar de la Tecnología 2.
- **Academia:** La Universidad de Chile posee un hardware para evaluar la red hidráulica, el cual puede ayudar para la Tecnología 1.

### 3.5. Estimación de recursos necesarios para acciones y actividades

#### 3.5.1. Necesidades para el fortalecimiento de capacidades

Este componente reconoce que, más allá de las inversiones físicas y tecnológicas, el desarrollo de capacidades humanas e institucionales es esencial para superar las barreras y maximizar el impacto de las tecnologías seleccionadas.

Para superar las barreras específicas de cada tecnología identificada en el sector de recursos hídricos, el fortalecimiento de capacidades se integra de manera transversal en todas las acciones y actividades del PAT:

- **En la implementación de tecnologías:** Asegurando que el personal y los usuarios finales posean los conocimientos y habilidades necesarios para aprovechar al máximo las tecnologías implementadas. Por ejemplo, se debe capacitar a la comunidad beneficiaria para que el agua generada por el SCALL sea de uso no potable, así como, el alcance de la tecnología del tratamiento de aguas residuales, las aguas se deben destinar al riego, para evitar posibles impactos en la salud del uso de agua no potabilizada.
- **En la gestión y mantenimiento:** Proporcionando formación continua para garantizar la sostenibilidad y eficiencia a largo plazo de las soluciones tecnológicas. La transparencia con la comunidad beneficiaria de algún proyecto de este sector reforzará los lazos entre comunidad e institución y aumentará la sensación y niveles de participación de la población.
- **En la toma de decisiones y políticas:** Mejorando las capacidades de los responsables de la formulación de políticas y la toma de decisiones para que puedan crear entornos habilitantes para la innovación y la gestión efectiva del agua. La comunidad no debe ser el único foco del fortalecimiento de capacidades, los tomadores de decisiones también deben recibir este beneficio.

A su vez, el fortalecimiento de capacidades abarca una amplia gama de actividades, desde la formación técnica y profesional hasta el desarrollo organizacional y el fortalecimiento de la gobernanza. Para este sector, esto incluye:

- **Formación y capacitación técnica:** Desarrollar las habilidades técnicas necesarias para implementar, operar y mantener las tecnologías de gestión de recursos hídricos. Por ejemplo, en la tecnología de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales, si bien se contempla la contratación de expertos y/o profesionales para el diseño e implementación, será la comunidad la que dará sostenibilidad al proyecto, siendo la encargada de verificar el buen funcionamiento del humedal y sus procesos técnicos.
- **Fortalecimiento institucional:** Mejorar la capacidad de las instituciones involucradas para gestionar eficazmente los recursos hídricos, incluyendo aspectos de planificación, regulación y supervisión.
- **Sensibilización y educación comunitaria:** Fomentar una comprensión más profunda y un compromiso con la gestión sostenible del agua entre la población general y las partes interesadas clave. Todas las tecnologías incluyen un componente de sensibilización comunitaria, donde se le reconoce como aliada clave para el éxito de los proyectos.

Este enfoque integral garantiza que el fortalecimiento de capacidades sea un pilar central en la implementación exitosa del PAT, contribuyendo a la resiliencia y sostenibilidad del sector de recursos hídricos.

### **3.5.2. Estimación de costos de acciones y actividades**

Esta sección pretende ofrecer una propuesta de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo las acciones y actividades de cada actividad, asegurando así la viabilidad y sostenibilidad del proyecto.

### 3.5.2.1. Tecnología 1: Machine Learning como detección y localización de fugas en redes de distribución de agua

Para el desarrollo del PAT de la tecnología de machine learning para fugas en redes de distribución de agua se estima un costo de 287,1 mil de USD.

**Tabla 8. Tabla de planificación de las acciones para implementación de las actividades de la tecnología 1**

<b>Acción</b>	<b>"A1. Robustecer del marco regulatorio que permita establecer a la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua en la regulación, en respuesta a las metas de la NDC"</b>					
<b>Prioridad</b>	Crucial					
<b>Riesgos y supuestos</b>	La implementación de medidas para reducir las fugas de agua en redes podría requerir inversiones significativas que pueden recaer sobre las tarifas de consumo					
<b>Criterios de éxito</b>	Tener en cuenta todas las partes interesadas y establecer acuerdos y colaboraciones con el sector privado					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A1.1. Análisis financiero y social del nivel de pérdida óptimo en fugas en redes de distribución de agua	MOP	Nivel óptimo de fugas en relación con el actual	2	15000	Informe técnico	Se estima un coste para el análisis de retorno económico y social de la red de infraestructura
A1.2. Actualización de la DFL 70 del MOP (Fijación de Tarifas de los servicios de agua potable y alcantarillado de aguas servidas) para incluir el concepto de fugas de agua en el modelo de empresa eficiente	MOP	Nuevo sistema de tarificación	3	44000	Asistencia técnica	Se estima un coste para la asistencia técnica en materia de los servicios de alcantarillado y del servicio de agua potable
A1.3. Establecimiento de un marco fiscalizador y sancionador para el cumplimiento de los niveles de pérdida óptimo establecidos para las fugas en redes de distribución de agua	SISS	Número de normativas aprobadas	12	83200	Horas de consultoría	Se estiman 480 horas de trabajo en base a la definición de objetivos, requisitos legales, y 8 meses para la implementación y certificación del marco regulatorio
<b>Subtotal A1</b>				<b>142200</b>	-	-

<b>Acción</b>	<b>A2. Fortalecer de alianzas público-privadas que favorezca la inversión de la tecnología para la reducción de fugas de agua en los sistemas de red de agua sanitaria</b>					
<b>Prioridad</b>	Crucial					
<b>Riesgos y supuestos</b>	Dependencia de las opciones de financiamiento, falta de convenios o mecanismos para la financiación					
<b>Criterios de éxito</b>	Estudio de opciones de financiación internacional y diversificación de las diferentes tecnologías existentes					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A2.1. Generación de una mesa de diálogo con las empresas sanitarias para establecer compromisos para la reducción de fugas de agua en las redes de distribución de agua	SISS	Jornadas o eventos de difusión realizados	12	14.000,00	Asistencia técnica para la dinamización de nuevas tecnologías para la reducción de fugas de agua	Servicio de asistencia para la creación de eventos, jornadas y el fomento de otro tipo de eventos que permitan la difusión de conocimiento y nuevas ideas
A2.2. Conformación de un Acuerdo de Producción Más Limpia (APL) que incentive a las empresas sanitarias incluir un sistema de detección y localización de fugas en sus redes de distribución y la reducción de estas	SISS ASCC MOP	Número de agentes clave identificados	6	18.200,00	Horas de consultoría	Se estima un coste asociado a la identificación de agentes clave, la negociación de los acuerdos y la publicación por un total de 280 horas.
<b>Subtotal A2</b>				<b>32.200,00</b>	-	-

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores priorizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

<b>Acción</b>	<b>A3. Desarrollar de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning, incluyendo la captura de datos, para la reducción de fugas en las redes sanitaria</b>					
<b>Prioridad</b>	Importante					
<b>Riesgos y supuestos</b>	La aplicación de la tecnología puede suponer costes elevados y requerir formación específica para su implementación					
<b>Criterios de éxito</b>	El uso de tecnología mediante machine learning permite la mejora continua a través de la actualización de datos y mejora del modelo					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A3.1. Diagnóstico de las necesidades de información de las empresas prestadora de servicios (EPS) para la implementación de esta tecnología	SISS	Listado de requerimientos y necesidades	6	15.000,00	Estudio de necesidades	Se estima un coste para el diagnóstico de necesidades de información requerida para la implementación de la tecnología y equipo necesario el desarrollo
A3.2. Diagnóstico de las necesidades de fortalecimiento de equipos técnicos en las empresas prestadora de servicios (EPS) para la implementación de esta tecnología	SISS					Conjunta con la anterior
A3.3. Elaboración de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante ML	SISS	Publicación de la guía (sí/no)	3	10.400,00	Precio guía/documento grafico	3 meses en total dedicados a la coordinación para desarrollar el contenido y a la propia elaboración del contenido. Coste base para la elaboración de documento aproximado del 10.000€.
A3.4. Desarrollo de talleres de difusión de la tecnología, su implementación y beneficios	SISS MOP	Número de talleres realizados y asistencia a los mismos	2	2.000,00	Creación y elaboración de un taller	Se estima un coste total de 2000 para la coordinación de los contenidos y su implementación
<b>Subtotal A3</b>				<b>27.400,00</b>	-	-

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

<b>Acción</b>	<b>A4. Desarrollar una estrategia institucional que fortalezca el servicio de fiscalización a las empresas sanitarias, en la temática de pérdidas de agua</b>					
<b>Prioridad</b>	Importante					
<b>Riesgos y supuestos</b>	Poca involucración de las instituciones o fiscalización con umbrales de exigencia reducidos					
<b>Criterios de éxito</b>	Oportunidad de transparencia para el cumplimiento de los estándares y normativas y mejora de la eficiencia del sistema actual					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A4.1. Diagnóstico de las necesidades de personal de fiscalización en el SISS	MOP	Número de incorporaciones requeridas	1	5.200,00	Horas de consultoría	Se estiman 80 horas en concepto de identificación del personal actual y necesidades futuras
A4.2. Establecimiento de un sistema de reporte obligatorio de fugas de agua en las empresas sanitarias	SISS	Número de fugas detectadas	12	36.033,00	Asistencia técnica	Se estima un coste asociado al seguimiento y mantenimiento del sistema de detección de fugas de la red de abastecimiento de agua potable
A4.3. Desarrollo de cursos de extensión que brinden capacitaciones técnicas	SISS	Número de trabajadores públicos con formación específica	3	20.800,00	Horas de consultoría	Se estiman dos meses para la planificación de los trabajos, el desarrollo del contenido, la creación de la formación, y otro mes para la coordinación de contenidos e implementación
<b>Subtotal A4</b>				<b>62.033,00</b>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2.2. Tecnología 2: Reutilización de agua residual tratada

Para el desarrollo del PAT de la tecnología de reutilización de agua residual tratada se estima un costo de 232,6 mil de USD.

Tabla 9. Tabla de planificación de las acciones para implementación de las actividades de la tecnología 2

Acción	"A1. Fortalecer el marco regulatorio para formalizar y fomentar la reutilización de agua residual"					
Prioridad	Importante					
Riesgos y supuestos	Inversión elevada que puede repercutir sobre el usuario final					
Criterios de éxito	Tener en cuenta todas las partes interesadas y establecer acuerdos y colaboraciones con el sector privado					
Fuentes de financiamiento	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
Actividades específicas	Organismo responsable	Indicadores para el seguimiento de la ejecución	Plazo estimado de ejecución (meses)	Presupuesto por actividad (€)	Concepto del coste de la actividad	Justificación del coste
A1.1. Identificación de las zonas de Chile en que resulte beneficioso la reutilización de agua residual	MOP MMA	Superficie requerida (m <sup>2</sup> )	4	15.000,00	Estudio de viabilidad técnica	Se considera el análisis de las distintas opciones de emplazamiento e implementación
A1.2. Actualización de la DFL 70 del MOP para incluir el concepto de reutilización de agua residual en el modelo de empresa eficiente	MOP	Número de entidades afectadas por la actualización de la proposición	8	26.000,00	Horas de consultoría	Se estiman 400 horas de trabajo en base a la definición de objetivos, requisitos legales, y 8 meses para la implementación y certificación
A1.3. Implementación de una normativa que establezca el rol de propiedad sobre las aguas residuales tratadas	MOP	Número de normativas aprobadas	12	83.200,00	Horas de consultoría	Se estiman 480 horas de trabajo en base a la definición de objetivos, requisitos legales, y 8 meses para la implementación y certificación del marco regulatorio
<b>Subtotal A1</b>				<b>124.200,00</b>	-	-

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores priorizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

<b>Acción</b>	<b>“A2. Regular del uso de la calidad de agua residual tratada y de sus estándares de cumplimiento de calidad ambiental”</b>					
<b>Prioridad</b>	Importante					
<b>Riesgos y supuestos</b>	Acuerdos con el sector privado para las regulaciones					
<b>Criterios de éxito</b>	Aprovechamiento para actividades que permitan el uso de agua regenerada y reducción de la demanda					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A2.1 Establecimiento de una norma que defina los estándares para la calidad de agua residual tratada, según el sector que la va a reutilizar	MMA	Número de estándares de calidad definidos	8	31.200,00	Horas de consultoría	Se estiman 480 horas de trabajo en base a la definición de objetivos, requisitos legales, y 8 meses para la implementación y certificación
A2.2. Difusión de la normativa y la importancia de su aplicación	MMA	Número de jornadas realizadas	3	8.000,00	Creación y elaboración de una campaña de difusión	Se estima un coste total de 8000 para la definición de los contenidos, preparación de la difusión e implementación
A2.3. Desarrollo de una mesa de trabajo para la capacitación de la aplicación de la normativa	MMA	Jornadas o eventos de difusión realizados	12	14.000,00	Asistencia técnica para la creación de sinergias entre el sector público y privado	Servicio de asistencia para la creación de eventos, jornadas y el fomento de otro tipo de actos que facilite la aplicación del marco normativo
<b>Subtotal A2</b>				<b>53.200,00</b>	-	-

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

<b>Acción</b>	<b>"A3. Fomentar de estudios de factibilidad que evalúen las externalidades positivas de los proyectos para determinar la viabilidad de la reutilización de agua residual tratada urbana"</b>					
<b>Prioridad</b>	Importante					
<b>Riesgos y supuestos</b>	Acuerdos con el sector privado para las regulaciones					
<b>Criterios de éxito</b>	Aprovechamiento para actividades que permitan el uso de agua regenerada y reducción de la demanda					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A3.1. Elaboración de lineamientos para la cuantificación de externalidades positivas de la reutilización de agua residual tratada	MOP					De forma conjunta con la siguiente
A3.2. Identificación de sinergias entre empresas de tratamiento de agua residual y posibles beneficiarios	MOP MMA	Número de empresas dispuestas a invertir y cantidad prevista de inversión	4	5.850,00	Horas de consultoría	Se estiman 90 horas en concepto de búsqueda de contactos (40h), reuniones de trabajo (30h) y priorización de agentes (20h)
A3.3. Diagnóstico de los principales desafíos que permitan llevar a cabo las sinergias identificadas	MOP MMA	Desafíos de mayor importancia	4	15.000,00	Estudio de viabilidad técnica	Se considera el análisis de viabilidad que identifique los principales retos del proyecto
A4.4. Desarrollo de un piloto de reutilización de agua residual tratada a escala local para la cuantificación de externalidades de acuerdo con la metodología desarrollada y los desafíos identificados	MOP MMA	Coste total respecto al valor estimado	20	-	Coste total de implementación del proyecto sobre la capacidad de tratamiento diaria (€/m3)	Se considera el coste asociado a una prueba piloto de agua regenerada para la recuperación de acuíferos sobreexplotados
A5.5. Difusión de los resultados de factibilidad del piloto implementado que incluya la cuantificación de las externalidades en base a la metodología elaborada a nivel ciudadanía	MOP MMA	Número de jornadas realizadas y asistencia a las mismas	3	8.000,00	Creación y elaboración de una campaña de concienciación	Se estima un coste total de 8000 para la coordinación de los contenidos, difusión, preparación de la jornada e implementación
A6.6. Difusión de los lineamientos para la cuantificación de externalidad positivas	MOP MMA	Número de talleres realizados y asistencia a los mismos	2	2.000,00	Creación y elaboración de un taller	Se estima un coste total de 2000 para la coordinación de los contenidos y su implementación
<b>Subtotal A3</b>				<b>20.850,00</b>	-	-

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

<b>Acción</b>	<b>"A4. Fomentar de la creación de redes o espacios de transferencias de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales"</b>					
<b>Prioridad</b>	Importante					
<b>Riesgos y supuestos</b>	Problemas de gobernanza o falta de mecanismos de inversión					
<b>Criterios de éxito</b>	Innovación y aumento del conocimiento dentro del sector público					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A4.1. Desarrollo foros públicos que permitan la transferencia de conocimiento entre expertos, académicos, empresas y tomadores de decisión, donde se aborden desafíos específicos de la reutilización de aguas residuales, el uso de tecnología y sus beneficios	MOP MMA	Número de eventos o campañas realizadas	3	5.100,00	Horas de consultoría	Se estima un coste de 5.100€ en concepto de alquiler de local (2.000€), mantenimiento técnico y mobiliario (600€) y catering (2.500€). No se contabiliza el coste asociado a la preparación de contenidos del evento o la difusión de este
A4.2. Desarrollo de materiales didácticos para la ciudadanía que permita cerrar las brechas de desconocimiento y temor del uso de agua residual tratada	MOP MMA	Número de asistentes a las jornadas	4	10.400,00	Coste de elaboración de una jornada de cuatro seminarios online	3 meses en total dedicados a la coordinación para desarrollar y elaborar los contenidos de una jornada de distintos seminarios web que permita dar a conocer los beneficios del hidrógeno verde en el transporte pesado. Se considera un coste de 10horas por ponente y seminario en concepto de preparación de contenidos, coordinación y realización del seminario, 4 ponentes por seminario y cuatro jornadas.
<b>Subtotal A4</b>				<b>15.500,00</b>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2.3. Tecnología 3: Sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL)

Para el desarrollo del PAT de la tecnología de SCALL se estima un costo de 506,9 mil de USD.

Tabla 10. Tabla de planificación de las acciones para implementación de las actividades de la tecnología 3

<b>Acción</b>	<b>A1. Robustecer el marco regulador que establece el uso de agua para que preste prioridad al uso de agua lluvia como fuente de abastecimiento hídrica</b> <b>A1. Fortalecer la capacidad técnica y acompañamiento a las municipalidades y gobierno regional por parte de las instituciones y servicios nacionales relacionados con agricultura, riego y recurso hídrico</b>					
<b>Prioridad</b>	Importante					
<b>Riesgos y supuestos</b>	Baja involucración del personal público en las capacitaciones técnicas					
<b>Criterios de éxito</b>	Tener en cuenta elementos de infraestructura tales como sistemas de drenaje urbano sostenible					
<b>Fuentes de financiamiento</b>	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
<b>Actividades específicas</b>	<b>Organismo responsable</b>	<b>Indicadores para el seguimiento de la ejecución</b>	<b>Plazo estimado de ejecución (meses)</b>	<b>Presupuesto por actividad (€)</b>	<b>Concepto del coste de la actividad</b>	<b>Justificación del coste</b>
A1.1. Identificación y análisis de las zonas de Chile en que resulte más beneficioso la implementación de SCALL	MOP – MINAGRI - MMA	Superficie requerida (m <sup>2</sup> )	4	15.000,00	Estudio de viabilidad técnica	Se considera el análisis de las distintas opciones de emplazamiento e implementación
A1.2. Reconocimiento del valor y la importancia del uso de agua lluvia dentro del marco regulador existente (Código de Aguas)	MOP – MINAGRI - MMA					
A1.3. Establecimiento de una normativa reglamentaria común que establezca los requerimientos básicos para el funcionamiento de los SCALL	MOP – MINAGRI - MMA	Definición del marco normativo regulatorio (sí/no)	18	83.200,00	Horas de consultoría/asistencia técnica	Se estima un total de 8 meses para la identificación de necesidades, definición del marco normativo, elaboración de borrador y revisión de la normativa. El plazo estimado de ejecución de la normativa puede ser superior a los 18 meses
A1.4. Desarrollo de un programa de asesoría técnica y capacitación a los miembros de los consejos de cuenca sobre la importancia y uso de la tecnología SCALL	MOP – MINAGRI - MMA	Número de trabajadores públicos con formación en tecnología SCALL	3	20.800,00	Horas de consultoría	Se estiman dos meses para la planificación de los trabajos, el desarrollo del contenido, la creación de la formación, y otro mes para la coordinación de contenidos e implementación
<b>Subtotal A1</b>				<b>119.000,00</b>	-	-

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

Acción	A2. Fortalecer sinergias entre diversos actores que permita una mayor implementación de los SCALL en zonas estratégicas					
Prioridad	Importante					
Riesgos y supuestos	Acuerdos en las formas de financiación de los proyectos al existir distintas partes interesadas					
Criterios de éxito	Definir estudios de capacidad para asegurar el abastecimiento					
Fuentes de financiamiento	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
Actividades específicas	Organismo responsable	Indicadores para el seguimiento de la ejecución	Plazo estimado de ejecución (meses)	Presupuesto por actividad (€)	Concepto del coste de la actividad	Justificación del coste
A2.1. Identificación de sinergias que pueden realizarse entre los actores de un entorno local relacionados a la implementación de proyectos de SCALL	MOP – MINAGRI - MMA	Jornadas o eventos de difusión realizados	12	14.000,00	Asistencia técnica para la creación de sinergias entre el sector público y privado	Servicio de asistencia para la creación de eventos, jornadas y el fomento de otro tipo de eventos que permitan la implementación de SCALL
A2.2. Establecimiento de alianzas entre la sociedad civil, instituciones públicas, y/o privadas para la inserción e instalación de SCALL	MOP – MINAGRI - MMA	Número de colaboraciones con centros de investigación obtenidas	6	18.200,00	Horas de consultoría	Se estiman 280 horas en concepto de recopilación de información, identificación de agentes prioritarios, reuniones e identificación de puntos de encuentro. Se estima un plazo de ejecución de 6 meses para el conjunto de la acción
A2.3. Desarrollo de un programa de asesoría técnica y capacitación a la población que brinde atención personalizada incluyendo visitas a campo y seguimiento continuo para asegurar el uso adecuado de la tecnología y de los beneficios esperados con un enfoque territorial, de género e intercultural	MOP – MINAGRI - MMA	Evolución anual del número de instalaciones de recogida	12	237.267,00	Asistencia técnica	Se estima un coste asociado a la contratación de asistencia técnica para el seguimiento e implementación de nuevas instalaciones
A2.4. Instalación de SCALL en las zonas de Chile donde resulta beneficioso su implementación	MOP – MINAGRI - MMA	m3 de agua recogidos anualmente	3	Precio unitario por actividad: 80,12 (€/m3)	Coste de ejecución de obra sobre capacidad (€/m3)	Se estima el coste asociado a la ejecución de las obras necesarias para implementar una red de recogida de aguas pluviales en varias calles de una localidad
<b>Subtotal A2</b>				<b>269.467,00<sup>10</sup></b>	-	-

<sup>10</sup> No considera los costos de la actividad A2.4 debido a que dependerá del volumen a considerar en los proyectos.

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

Acción	A3. Promover la aplicación de los SCALL en las zonas potencialmente beneficiarias					
Prioridad	Importante					
Riesgos y supuestos	Variabilidad de las condiciones climáticas puede modificar las zonas inicialmente clasificadas como beneficiarias					
Criterios de éxito	Garantizar que el agua recogida sea segura y cumpla con estándares de calidad					
Fuentes de financiamiento	Recursos presupuestales, fondos de asistencia técnica, Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, banco europeo de inversiones, Green Climate Fund, Clean Energy Fund, fondo de adaptación, fondos de cooperación bilateral					
Actividades específicas	Organismo responsable	Indicadores para el seguimiento de la ejecución	Plazo estimado de ejecución (meses)	Presupuesto por actividad (€)	Concepto del coste de la actividad	Justificación del coste
A3.1. Análisis financiero de tipos de proyectos SCALL de acuerdo con la escala y lugar de implementación	MINAGRI	TIR y VAN de la inversión	2	20.000,00	Estudio de viabilidad técnica	Coste asociado a la elaboración del estudio de viabilidad económica
A3.2. Identificación de programas de subvenciones y fondos nacionales y/o internacionales aplicables	MINAGRI	Aportación económica de las distintas opciones de financiación	1	7.800,00	Horas de consultoría	Se estiman 120 horas en concepto de benchmarking para identificar fuentes de financiación y colaboraciones
A3.3. Modelo de gestión: sostenibilidad financiamiento (mantenimiento y funcionamiento), gobernanza, gestión	MINAGRI – MOP	Coste de mantenimiento anual	6	20.800,00	Horas de consultoría	Se estiman 320 horas en concepto de definición de objetivos, estrategia y planificación del modelo de gestión
A3.4. Campañas de difusión de las fuentes de financiamiento disponibles y beneficios potenciales de los SCALL con un enfoque territorial, de género e intercultural	MINAGRI – MOP	Número de jornadas realizadas y asistencia a las mismas	3	8.000,00	Creación y elaboración de una campaña de concienciación	Se estima un coste total de 8000 para la coordinación de los contenidos, difusión, preparación de la jornada e implementación
A3.5. Desarrollo de políticas de incentivo a la instalación de SCALL para satisfacer necesidades básicas y de subsistencia	MINAGRI - MOP	Beneficio fiscal por instalación de SCALL	5	20.800,00	Horas de consultoría	Se estiman 320 horas totales en concepto de estudio de las distintas opciones de incentivos, priorización y análisis de los potenciales impactos
<b>Subtotal A3</b>				<b>77.400,00</b>	-	-

Fuente: Elaboración propia.

## 3.6. Planificación de la gestión

### 3.6.1. Medidas de gestión para el riesgo

Esta sección se dedica a identificar, evaluar y desarrollar estrategias para mitigar los riesgos que puedan surgir durante la implementación y operación de las tecnologías seleccionadas para la gestión de recursos hídricos.

En ese sentido se han identificado los siguientes tipos de riesgos, tanto para el sector como para la implementación de cada tecnología (ver Tabla 11).

**Tabla 11. Tipos de riesgos identificados para el sector**

Tipo de riesgo	Descripción
<b>Ambientales</b>	Asociados con impactos negativos en el medio ambiente. Pueden incluir la contaminación, la degradación de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad y los efectos del cambio climático. En proyectos específicos, estos riesgos pueden estar relacionados con la construcción y operación de infraestructuras, con la manipulación de sustancias peligrosas o gestión de plagas.
<b>Económico</b>	Asociados a la posibilidad de que un proyecto o una empresa enfrenten cambios adversos en las condiciones económicas o financieras que puedan afectar negativamente su rendimiento, viabilidad o rentabilidad. Por ejemplo, fluctuaciones en los mercados financieros, cambios en la demanda, inflación y variación de precios, riesgos crediticios, entre otros.
<b>Implementación</b>	Asociado a desafíos y obstáculos que pueden surgir durante la fase de ejecución de un proyecto. Incluyen retrasos en el cronograma, problemas logísticos, errores en la gestión del proyecto, y dificultades en la coordinación entre diferentes partes interesadas. Estos riesgos pueden afectar la capacidad de completar el proyecto a tiempo, dentro del presupuesto y de acuerdo con las especificaciones planificadas.
<b>Tecnológicos</b>	Asociados con la adopción y uso de nuevas tecnologías. Pueden incluir fallas técnicas, obsolescencia, incompatibilidad con sistemas existentes y problemas de ciberseguridad. Estos riesgos son especialmente relevantes en proyectos que dependen de tecnologías avanzadas o innovadoras (por ejemplo, machine learning).
<b>Financiación</b>	Asociados con la obtención y gestión de fondos para un proyecto. Incluyen la incertidumbre sobre la disponibilidad de financiamiento, fluctuaciones en los costos, y riesgos relacionados con la gestión de presupuestos y flujos de efectivo. La inestabilidad financiera o cambios en las condiciones del mercado pueden también influir en estos riesgos.
<b>Sociales</b>	Asociados con los impactos de un proyecto en las comunidades locales y la sociedad en general. Incluyen la oposición, resistencia o rechazo de la comunidad, conflictos sociales, problemas de equidad y justicia social, y posibles impactos negativos en la calidad de vida. Este riesgo es relevante porque las tecnologías se han priorizado para comunidades rurales y zonas aisladas, por lo que la aceptación social y el apoyo comunitario son cruciales para el éxito a largo plazo de estos proyectos.
<b>Regulatorios</b>	Asociados con cambios en las leyes, regulaciones o políticas que pueden afectar la viabilidad o el funcionamiento de un proyecto. Incluyen la incertidumbre en cuanto a la obtención de permisos, cumplimiento de normativas ambientales o de seguridad, y posibles cambios en la legislación que puedan impactar las operaciones del proyecto o sus costos.

Fuente: Elaboración propia.

Posterior a la identificación de los riesgos, se deben proponer acciones de contingencia, que consisten en proporcionar respuestas predefinidas y estrategias de acción para los posibles escenarios de riesgo identificados. Su inclusión se basa en el reconocimiento de que, a pesar de los esfuerzos de planificación y análisis, siempre existen incertidumbres y variables desconocidas que pueden afectar el curso del proyecto.

En ese sentido, entre los principales riesgos identificados del sector resaltan:

- Los riesgos **económicos**, en relación con la fluctuación de precios de las tecnologías y materiales asociados. Dado que cambios en el mercado global podrían afectar los costos y su acceso por parte de los líderes de los proyectos, por ello, para el caso de proyectos de varios años se sugiere establecer contratos a largo plazo y diversificar proveedores, de tal forma el proyecto pueda continuar sin retrasos.
- Los riesgos de **implementación** se asocian con retrasos y desafíos asociados al sector, dado que puede haber dificultades para integrar nuevas tecnologías con algunas infraestructuras ya existentes.
- Otro factor de riesgo es el desempeño de las **tecnologías**, dado que algunas tecnologías pueden no funcionar eficientemente bajo algunas condiciones, por ello se sugiere incorporar periodos de prueba y ajuste en cada proyecto. Otro riesgo de este tipo es la obsolescencia tecnológica, dado que debido a cambios actuales las tecnologías pueden volverse obsoletas en el corto plazo.
- El acceso a **financiamiento** es recurrente en proyectos de innovación tecnológica, esto puede generar fluctuaciones en el apoyo financiero y priorización política para impulsar este tipo de proyectos.
- Un factor relevante es el **social**, la resistencia comunitaria para la implementación de algunas tecnologías puede disminuir el éxito del proyecto, por lo que se deben incorporar campañas de sensibilización, e incorporar a los ciudadanos en todas las etapas del proceso, desde el diseño a la ejecución.
- Un riesgo **regulatorio** identificado es el cambio en la legislación del país y las regiones beneficiarias de algún proyecto. Puede que nuevas regulaciones impacten las operaciones y prácticas de gestión de aguas. Por ejemplo, si la Norma Chilena 1.333 que fija un criterio de calidad del agua de acuerdo referidos a los aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso (consumo humano, agua para animales, riego, recreación y estética y vida acuática) es modificada, se deberán actualizar el dimensionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales con humedales y los sistemas SCALL, cuyo insumo principal es generar agua para el riego. Bajo ese panorama, debería incorporarse en las cláusulas de los proyectos un Monitoreo legislativo y adaptación rápida a cambios dentro de un periodo de garantía.
- Finalmente, se identifican riesgos ambientales, con impactos negativos en ecosistemas (cuerpos de agua, paisajes) no previstos si alguna de las tecnologías impulsadas no funciona de manera adecuada.

La Tabla 12 especifica cada riesgo identificado, su descripción y su acción de contingencia.

**Tabla 12. Análisis de riesgos del sector de recursos hídricos**

Tipo de riesgo	Riesgo identificado	Descripción del riesgo	Acción de contingencia
<b>Económicos</b>	Fluctuaciones en los precios de tecnologías y materiales	Cambios en el mercado global afectan los costos de materiales y tecnologías utilizadas en la gestión de recursos hídricos.	Establecer contratos a largo plazo y diversificar proveedores.
<b>Implementación</b>	Retrasos y desafíos en la integración de sistemas.	Dificultades para integrar nuevas tecnologías con infraestructuras hídricas existentes.	Colaboración con expertos técnicos y planificación detallada.
<b>Tecnológicos</b>	Inadecuada adaptación de tecnologías a condiciones locales.	Tecnologías pueden no funcionar eficientemente bajo ciertas condiciones climáticas y geográficas.	Pruebas piloto y ajustes basados en datos locales.
	Obsolescencia de tecnologías en la gestión de recursos hídricos.	Tecnologías pueden volverse obsoletas rápidamente debido a avances.	Planificación de actualizaciones y seguimiento de innovaciones.
<b>Financiación</b>	Inestabilidad en la financiación para proyectos de recursos hídricos.	Fluctuaciones en el apoyo financiero y político pueden impactar proyectos.	Diversificar fuentes de financiamiento y establecer reservas.
<b>Sociales</b>	Resistencia comunitaria a nuevas prácticas de gestión de agua.	Comunidades pueden ser reacias a adoptar cambios en la gestión del agua.	Campañas educativas y participación comunitaria.
<b>Regulatorios</b>	Cambios en la legislación y normativas relacionadas con el agua.	Nuevas regulaciones pueden impactar las operaciones y prácticas de gestión de agua	Monitoreo legislativo y adaptación rápida a cambios.
<b>Ambientales</b>	Impactos ambientales no previstos en la gestión del agua.	Proyectos pueden tener efectos inesperados en el medio ambiente.	Evaluaciones de impacto ambiental y planes de mitigación.

Fuente: Elaboración propia.

Los riesgos identificados para cada tecnología son:

- Para ML se identificaron riesgos de implementación, en relación con empresas distribuidoras reacias a adoptar nuevas tecnologías. Regulatorios con normativas insuficientes para implementar inteligencia artificias (IA) en gestión de redes, y tecnológicos con limitaciones en la precisión de los algoritmos, que está ligado a la disponibilidad de datos históricos que entrene a los programas.
- Para reutilización de aguas residuales, se han identificado riesgos de tipo de financiación, con dificultad de obtener fondos para proyectos de mediana a gran escala, de tipo ambiental, pues un sistema deficiente podría impactar cuerpos de agua y afectar las áreas de riego, y tecnológicos, dado que dependiendo del volumen de tratamiento y los estándares de riego, puede que algunos sistemas requieran procesos adicionales para el cumplimiento de estándares.

- Para aplicación de SCALL se han identificado riesgos económicos por costos elevados de adaptación de infraestructuras existentes, por ejemplo, en comunidades rurales sin sistema de alcantarillado y donde cada familia tiene una fosa séptica. Para implementar un sistema de reutilización comunitario será necesario conectar dichas fosas con el nuevo sistema de tratamiento. Otro riesgo es social, dado que algunas comunidades se pueden mostrar reacias a cambiar prácticas de manejo de agua, o a usar agua tratada residual para el riego de sus cultivos.

La Tabla 13 especifica cada riesgo identificado, su descripción y su acción de contingencia.

**Tabla 13. Análisis de riesgo de las tecnologías priorizadas del sector**

Tipo de riesgo	Riesgo identificado	Descripción del riesgo	Acción de contingencia
<b>Tecnología 1: Machine Learning para detección de fugas</b>			
<b>Implementación</b>	Resistencia al cambio por parte de operadores de redes.	Operadores pueden ser reacios a adoptar nuevas tecnologías de IA.	Programas de capacitación y demostración de eficacia.
<b>Regulatorios</b>	Normativas insuficientes para la implementación de IA.	Falta de un marco regulatorio claro para la adopción de IA en gestión de redes.	Promover regulaciones que faciliten la adopción de IA.
<b>Tecnológicos</b>	Limitaciones en la precisión del algoritmo bajo ciertas condiciones.	El algoritmo puede no identificar fugas efectivamente en ciertas circunstancias.	Mejora continua del algoritmo y validación con datos de campo.
<b>Tecnología 2: Reutilización de aguas residuales con humedales artificiales</b>			
<b>Financiación</b>	Inseguridad en la financiación de proyectos de reutilización.	Dificultad para obtener fondos suficientes para proyectos a gran escala.	Explorar diversas fuentes de financiamiento y alianzas público-privadas.
<b>Ambientales</b>	Impacto en la calidad del agua en cuerpos receptores.	Reutilización inadecuada puede afectar cuerpos de agua naturales.	Establecer protocolos estrictos de control de calidad.
<b>Tecnológico</b>	Desafíos en la eficiencia del tratamiento de agua residual.	Tecnologías de tratamiento pueden no ser suficientemente eficientes.	Inversión en I+D para mejorar tecnologías de tratamiento.
<b>Tecnología 3: Sistema de Captación de Agua de Lluvia</b>			
<b>Económicos</b>	Costos elevados de adaptación de infraestructuras existentes.	La instalación de SCALL en estructuras no diseñadas para ello puede ser costosa.	Diseñar modelos de SCALL adaptativos y económicos.
<b>Sociales</b>	Falta de aceptación comunitaria.	Comunidades pueden ser reacias a cambiar prácticas de manejo del agua.	Campañas de concienciación y participación comunitaria.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6.2. Próximos pasos

Esta sección identifica las necesidades inmediatas y los pasos críticos necesarios para el éxito del PAT, y la ejecución estratégica de las acciones propuestas.

Tabla 14. Identificación de las necesidades inmediatas y pasos críticos

<p><b>Necesidades inmediatas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El PAT debe aprobarse por la contraparte para que pueda incorporarse dentro de los Planes Sectoriales del sector Silvoagropecuario, el cual se encuentra en etapa de consulta pública, y cuyas medidas y acciones incentivan tecnologías para fomentar el riego.</li> <li>• Asegurar los fondos iniciales necesarios para comenzar las actividades prioritarias. Esto podría incluir la obtención de compromisos financieros de fuentes gubernamentales, privadas o internacionales.</li> <li>• Identificar y asignar el equipo necesario para liderar y ejecutar las primeras etapas del TAP.</li> <li>• Implementar estrategias de comunicación para informar a todas las partes interesadas sobre los objetivos y beneficios del TAP, para promover la implementación de las tecnologías priorizadas.</li> </ul>
<p><b>Pasos críticos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lanzar proyectos piloto para demostrar la viabilidad y efectividad de las tecnologías y prácticas propuestas.</li> <li>• Desarrollar estrategias para garantizar la viabilidad financiera a largo plazo de las iniciativas del TAP, incluyendo la exploración de modelos de financiamiento innovadores.</li> <li>• Realizar actividades de sensibilización y entrenamiento de capacidades para difundir las tecnologías seleccionadas con los actores claves del sector.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.7. Reporte y Monitoreo

Esta sección propone como la evaluación del progreso, la identificación de áreas de mejora, y la garantía de que los objetivos del PAT se están cumpliendo repercuta en el éxito del Plan.

En ese sentido, esta sección contempla los siguientes componentes:

- **Periodo e indicadores:** Definir con en qué periodo se implementará cada actividad específica (meses, años) y bajo qué indicador se medirá su progreso. Esto está detallado en las tablas de la sección 3.5.2 Estimación de costos de acciones y actividades.
- **Responsabilidades y roles:** Asignar responsabilidades a los encargados de las actividades específicas, estos organismos serán quienes reporten el progreso de la actividad, mediante la elaboración de informes, incluyendo qué equipos o individuos serán responsables de recopilar, analizar y reportar datos. Esto está detallado en las tablas de la sección 3.5.2 Estimación de costos de acciones y actividades.
- **Contenido del reporte:** Especificar qué información se incluirá en los informes, como avances en actividades específicas, uso de recursos y logro de hitos. Se sugiere que estos reportes se publiquen en las plataformas institucionales de los actores claves.
- **Evaluación y ajuste:** Describir cómo se evaluarán los datos recopilados y cómo se utilizarán para hacer ajustes necesarios en la implementación del PAT.

La información generada a través del sistema de seguimiento del PAT se utilizará para recopilar y compartir sistemáticamente experiencias sobre cómo y si los sectores han podido atraer apoyo financiero y técnico para la implementación de cada PAT. Esto constituiría una buena base para que otros países aprendan unos de otros, reproduzcan experiencias de éxito y lecciones aprendidas. Permitirá promover una mayor implementación de los PAT y mejorar la participación de las partes interesadas dentro de cada país.

## 4. Ideas de proyecto del sector

### 4.1. Idea de proyecto tecnología 1: Machine Learning para detección de fugas

Esta idea de proyecto propone la implementación de una solución basada en machine learning (ML) por una empresa distribuidora de agua potable en Chile, que enfrenta un alto porcentaje de fugas en su red, posee tuberías antiguas y abastece poblaciones rurales. El objetivo es utilizar algoritmos de ML para analizar datos en tiempo real y detectar fugas de manera eficiente, minimizando la pérdida de agua y evitando cortes de agua por reparaciones, por ende, mejorando el servicio de agua potable en varias comunas o localidades.

La cobertura urbana de agua potable a nivel nacional es alrededor del 99% y la de alcantarillado aumentó a 96,5% del territorio. En cuanto la estructura del empresariado involucrado en los servicios sanitarios urbanos, aproximadamente el 95% de los clientes son atendidos por empresas de propiedad privada [40]. Sin embargo, según la SISS en 1998, las mermas eran de 28,8% a nivel nacional, porcentaje que fue creciendo y no ha bajado de sobre el 30% al 2016. Aproximadamente, en Chile existen en promedio 24 roturas por cada 100 kilómetros de tuberías de agua potable [41].

En ese sentido, dado que estas fugas acarrearán en pérdidas económicas para las empresas (agua no facturada), surge la necesidad de implementar nuevos sistemas para reducir las pérdidas. Se recomienda que esta idea de proyecto sea aplicada por una empresa privada de abastecimiento de agua, primero bajo un piloto que pueda aplicar en una comuna, y subsiguientes etapas podría ampliarse a todas las comunas o localidades que abastece.

#### 4.1.1. Objetivos

Utilizar algoritmos de ML para analizar datos en tiempo real y detectar fugas de manera eficiente, minimizando la pérdida de agua y evitando cortes de agua por reparaciones, por ende, mejorando el servicio de agua potable en varias comunas o localidades por parte de la empresa implementadora.

#### 4.1.2. Actividades y cronograma del proyecto

La implementación de esta tecnología requiere de etapas que incluyen desde el diseño del proyecto, el entrenamiento de los modelos de ML, la realización de los ajustes necesarios en una etapa de prueba, el despliegue completo, el seguimiento y monitoreo y replicabilidad y escalabilidad de este. Para ello, la Tabla 15 describe las actividades y el cronograma propuesto.

Tabla 15. Actividades y cronograma de la tecnología 1

Actividades	Actores claves	Meses de implementación											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Diseño del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seleccionar la empresa implementadora y los aliados claves (acuerdos, convenios, etc.)</li> <li>• Delimitar el área de implementación</li> <li>• Definir el plan de trabajo</li> </ul>	Empresa sanitaria líder del proyecto SISS MOP												
<b>Recopilación y Análisis de Datos</b>	Empresa sanitaria líder del proyecto SISS												

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

Actividades	Actores claves	Meses de implementación											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar un diagnóstico preliminar que incluya el análisis del estado actual de la red de distribución, identificación de áreas problemáticas</li> <li>Realizar un análisis financiero y social del nivel de pérdida óptimo en fugas en redes de distribución de agua</li> <li>Recopilar datos históricos y en tiempo real de la red, incluyendo presión del agua, caudal, reparaciones anteriores, y condiciones meteorológicas.</li> </ul>	MOP SISS												
<b>Desarrollo y Entrenamiento de Modelos ML</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar o licitar un diagnóstico de modelos de ML</li> <li>Selección del modelo de machine learning a implementar y entrenamiento del modelo con los datos recopilados.</li> </ul>	Empresa sanitaria líder del proyecto SISS MOP												
<b>Implementación Piloto (puesta en marcha) y Ajustes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar un piloto en áreas seleccionadas para probar la eficacia del sistema.</li> <li>Ajustar los modelos y solucionar problemas en un entorno controlado, minimizando los riesgos antes del despliegue a gran escala</li> </ul>	Empresa sanitaria líder del proyecto SISS MOP												
<b>Despliegue Completo y Monitoreo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar en toda la red de distribución (posterior al ajuste y prueba de la etapa anterior).</li> <li>Monitoreo y mantenimiento constante. Esto incluye actualizaciones regulares del modelo y respuesta a nuevos patrones de datos.</li> <li>Capacitar al personal en el uso y mantenimiento del sistema de ML y en la interpretación de sus resultados.</li> </ul>	Empresa sanitaria líder del proyecto SISS MOP Organizaciones civiles Autoridades locales												
<b>Replicabilidad y escalabilidad del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Generar una mesa de diálogo con las empresas sanitarias para compartir los resultados del proyecto e incentivar que repliquen la tecnología de ML para la reducción de fugas de agua en sus redes de distribución de agua.</li> <li>Conformar de un Acuerdo de Producción Limpia (APL) que incentive a las empresas sanitarias incluir un sistema de detección y localización de fugas en sus redes de distribución y su reducción</li> <li>Tomando como referencia el piloto, licitar un “Diagnóstico de las necesidades de información de las empresas prestadora de servicios (EPS) para la implementación de esta tecnología”</li> <li>Elaborar de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning</li> </ul>	Empresa sanitaria líder del proyecto SISS MOP Organizaciones civiles Autoridades locales												

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las especificaciones técnicas de cada proyecto dependerán de su alcance, la geografía del lugar, los actores involucrados y el tipo de tecnología a implementar. Sin perjuicio de ello, en el Box 1 se presentan algunas consideraciones técnicas para tener en cuenta para la implementación de la idea de proyecto.

Finalmente, los plazos propuestos son referenciales y están sujetos a modificación dependiendo del alcance de cada proyecto.

### 4.1.3. Relación con las prioridades del país

El proyecto de ML para detección de fugas se ve respaldado con diferentes prioridades a nivel nacional:

- a) La detección de fugas por Machine Learning tiene una sinergia directa con una de las metas de adaptación propuestas en la NDC, la cual menciona que para 2030, se debe reducir al menos en un 25% las pérdidas de agua por concepto del volumen de aguas no facturadas de los sistemas sanitarios.
- b) La Estrategia Nacional de Recursos Hídricos en su componente de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), presenta una sinergia con esta tecnología, dado que este componente tiene como meta principal el aumentar la eficiencia en el uso del agua, esto minimizando el gasto del recurso y reintegrando el mismo en otras actividades o a caudales ecológicos.
- c) La Política Nacional para los Recursos Hídricos contiene diferentes metas ligadas al desarrollo tecnológico para la protección del agua. Así, la sinergia con esta tecnología se vincula a través del desarrollo de capital humano/innovación/tecnologías, la Gestión integrada de recursos hídricos y el desarrollo de infraestructura eficiente propuesto en esta política del año 2015.
- d) El Informe Final de la Mesa Nacional de Agua 2022 identificó como uno de sus ejes prioritarios el Plan de Infraestructura Hídrica e Incorporación de Nuevas Fuentes de Agua, el cual debe abordar aspectos regulatorios que permitan diseñar normas que generen un sano equilibrio entre el cuidado ambiental, la prioridad del agua para las personas y los incentivos para la inversión privada de última tecnología, como son las tecnologías como el Machine Learning.

### 4.1.4. Co-beneficios del proyecto

#### Ambientales

- La detección eficiente de fugas mediante ML ayuda a reducir la cantidad de agua que se pierde en el sistema, lo que contribuye a la conservación del recurso hídrico.
- Un mejor aprovechamiento del recurso hídrico disminuye la necesidad de extracción excesiva de agua de fuentes naturales y la energía asociada con el tratamiento y bombeo de agua.

#### Sociales

- Una gestión eficiente de las fugas de agua mejora la confiabilidad y calidad del suministro de agua para los usuarios.
- La implementación de tecnologías avanzadas como el ML en la gestión del agua puede aumentar la conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad del agua.

#### Económicas

- La detección temprana y precisa de fugas puede reducir los costos asociados con reparaciones de emergencia, pérdidas de agua y daños a la infraestructura.

- Con un mejor entendimiento de las condiciones de la red de agua, se pueden priorizar inversiones y mantenimientos de manera más efectiva.
- La implementación de ML impulsa la creación de empleo entre los profesionales locales, contribuye al crecimiento económico y a la innovación tecnológica en la región.

#### 4.1.5. Presupuesto del proyecto

Para la implementación de esta idea de proyecto, se estima un costo de 1.055.000,00 USD.

**Tabla 16. Estimación de costos de la idea de proyecto de la tecnología 1**

Actividad	Subactividad	Concepto de costo	Valor (USD)	Supuestos
<b>Diseño del proyecto</b>	Seleccionar la empresa implementadora y los aliados claves (acuerdos, convenios, etc.)	Contratación consultoría	60.000,00	Gastos directos para reuniones y desplazamientos y mano de obra especializada y analistas
	Delimitar el área de implementación			Análisis geográfico y estudios preliminares para delimitar el área.
	Definir el plan de trabajo			
<b>Recopilación y Análisis de Datos</b>	Diagnóstico preliminar que incluya el análisis del estado actual de la red de distribución, identificación de áreas problemáticas	Equipamiento especializado para inspecciones, como cámaras de inspección y drones.	75.000,00	Equipamiento especializado para inspecciones, como cámaras de inspección y drones.  Software de análisis y modelado de redes de distribución.  Implementación de sistemas de IoT para la recopilación de datos en tiempo real, incluyendo la instalación de sensores de presión y caudal, y la configuración de software para el análisis de datos.  Acceso a bases de datos.
	Análisis financiero y social del nivel de pérdida óptimo en fugas en redes de distribución de agua	Software de análisis y modelado de redes de distribución.		
	Recopilación de datos históricos y en tiempo real de la red, incluyendo presión del agua, caudal, reparaciones anteriores, y condiciones meteorológicas.	Mano de Obra		
<b>Desarrollo y Entrenamiento de Modelos ML</b>	Diagnóstico de modelos de ML	Costo promedio por hora para científicos de datos/especialistas en ML	50.000,00	
	Selección del modelo de machine learning a implementar y entrenamiento del modelo con los datos recopilados	Uso de plataformas de computación en la nube para el entrenamiento y almacenamiento de modelos.		
<b>Implementación Piloto (puesta en marcha) y Ajustes</b>	Implementación piloto en áreas seleccionadas para probar la eficacia del sistema	Mano de obra y uso de infraestructura de telecomunicaciones para la transmisión de datos.	30.000,00	Instalación de hardware y configuración de software necesarios para la implementación del sistema de ML en las áreas piloto seleccionadas.
	Ajustar los modelos y solucionar problemas en un entorno controlado, minimizando los riesgos antes del despliegue a gran escala	Científicos de datos/especialistas en ML		
<b>Despliegue completo y monitoreo</b>	Implementar en toda la red de distribución (posterior al ajuste y prueba de la etapa anterior).	Costo Ingeniería, especialistas ML, técnicos de mantenimiento y formadores	800.000,00	Hardware adicional (sensores, servidores) y costos de logística para la implementación a gran escala. Integración de sistemas y la infraestructura de telecomunicaciones. Licencias de software para herramientas de monitoreo y análisis.
	Monitoreo y mantenimiento constante. Esto incluye actualizaciones regulares del modelo y respuesta a nuevos patrones de datos.			

Actividad	Subactividad	Concepto de costo	Valor (USD)	Supuestos
	Capacitación del personal en el uso y mantenimiento del sistema de ML y en la interpretación de sus resultados.			Costos recurrentes por uso de plataformas de computación en la nube. Materiales de capacitación y posiblemente el uso de plataformas de e-learning. El costo de mantenimiento anual y capacitación es recurrente, mientras que la implementación en toda la red es un costo inicial.
<b>Replicabilidad y escalabilidad del proyecto</b>	Generación de una mesa de diálogo con las empresas sanitarias para compartir los resultados del proyecto e incentivar que repliquen la tecnología de ML para la reducción de fugas de agua en sus redes de distribución de agua	Consultoría especializada	40.000,00	Incluye catering, mano de obra especializada y diseño, impresión y distribución de guías.
	Conformación de un Acuerdo de Producción Más Limpia (APL) que incentive a las empresas sanitarias incluir un sistema de detección y localización de fugas en sus redes de distribución y la reducción de las mismas			
	Tomando como referencia el piloto, licitar un "Diagnóstico de las necesidades de información de las empresas prestadora de servicios (EPS) para la implementación de esta tecnología"			
	Elaboración de una guía técnica de apoyo que fomente la implementación de la tecnología de detección de fugas mediante machine learning.			
<b>Total</b>			<b>1.055.000,00</b>	(*)

Nota: (\*) Cálculos realizados con base en horas de desarrollo. 160 hrs diseño, 160 hrs diagnóstico, 320 hrs entrenamiento (piloto), 400 hrs para implementación (equipo ampliado) y 200 hrs formación.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.6. Medidas de gestión de riesgo

La implementación de un sistema de ML en una empresa distribuidora para detectar y reducir fugas de agua presenta varios riesgos y desafíos, detallados a continuación, junto con sus correspondientes medidas de gestión.

- a) La implementación de ML requiere conocimientos especializados en ciencia de datos, ingeniería de software y conocimientos de sistemas de agua. Por lo que la falta de personal calificado puede limitar la capacidad de desarrollar, implementar y mantener eficazmente el sistema. Para ello, se deberán considerar programas de capacitación para el personal existente y la contratación de expertos en la materia.
- b) Si no existen políticas o mecanismos de control que obliguen a las entidades de suministro de agua a reducir las fugas, puede haber poca motivación para invertir en sistemas avanzados de detección y reparación de fugas. En ausencia de una presión externa para mejorar, las empresas de servicios públicos pueden priorizar otras inversiones por encima de la reducción de fugas, lo que lleva a una gestión ineficiente del agua y a la pérdida de recursos.
- c) Las empresas privadas podrían no considerar la inversión en tecnologías de ML como prioritaria debido a la percepción de altos costos iniciales, la falta de conocimiento sobre los

beneficios a largo plazo, o la preferencia por soluciones más tradicionales. Por ello, las autoridades responsables deberán presentar análisis detallados del retorno de la inversión que muestren cómo las tecnologías de ML pueden reducir costos operativos a largo plazo, aumentar la eficiencia y evitar pérdidas significativas de recursos.

- d) Hay una falta de motivación para invertir en tecnologías avanzadas como el ML, lo que se traduce en falta de incentivos o postulaciones a los fondos existentes. Las limitaciones presupuestarias o la preferencia por soluciones tradicionales pueden obstaculizar la adopción de estas nuevas tecnologías. Por ello, se deberá demostrar el retorno de la inversión a través de estudios de caso y análisis de costo-beneficio, la difusión de casos de éxito en otros lugares, y buscar financiamiento externo o asociaciones público-privadas.
- e) El ML requiere una gran cantidad de datos de calidad para ser efectivo y entrenar de manera adecuada a los softwares de aprendizaje. Por lo que, la falta de datos suficientes o de calidad puede limitar la precisión y eficacia del sistema de ML. En ese sentido, la empresa implementadora debe contar con un registro histórico robusto, considerar el uso de datos de fuentes abiertas o colaborar con otras entidades para compartir datos.

## **4.2. Idea de proyecto tecnología 2: Reutilización de agua residual con humedales artificiales**

Se contempla el piloto desde el tratamiento del agua residual con una solución basada en la Naturaleza (SbN) para su reúso en la agricultura. El piloto deberá de comprender una zona bajo porcentaje de tratamiento de aguas y que existan casos de contaminación de aguas por el vertimiento del agua residual en los cuerpos de agua.

En Chile, en el ámbito rural, la conexión a sistemas de alcantarillado es solo del 21% en comparación con el 98% de las zonas urbanas. Mientras que la proporción del tratamiento de las aguas servidas es del 17% en zonas rurales y 81% en zonas urbanas [42]. No obstante, si bien existen diferentes tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales urbanas, los sistemas naturales de depuración pueden constituir una solución más adecuada para pequeñas poblaciones ya que no requieren grandes costes de inversión ni de mantenimiento.

Se sugiere a la comuna de Isla de Maipo, de la región Metropolitana, dado que su sistema de tratamiento de aguas es deficiente y consiste en la recolección diaria o semanal de camiones limpia fosas. Según datos del municipio, son más de 16 millones lo que se gastan en costos operacionales de los camiones. Y que 115 son los hogares que reciben gratuitamente el servicio de limpia fosas y otros 476 tienen un costo fijo entre 5.000 y 15.000 pesos [43]. Además, estos hogares poseen un 25.6% de población rural que podría usar el agua tratada para el riego de cultivos y demás actividades de uso de agua no potable [44].

En ese sentido, los humedales artificiales para la depuración de aguas residuales se presentan como una solución innovadora con tecnología de bajo costo, diseñados para optimizar procesos naturales, debido a lo cual son considerados como opciones sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

### 4.2.1. Objetivos

Aplicar un sistema de reutilización de aguas residuales en una zona con carencia de un sistema de recolección y tratamiento de aguas grises mediante una tecnología sostenible y de bajo costo para el tratamiento de estas aguas, para aprovechar las aguas tratadas en sistemas de riego en familias con agricultura de subsistencia.

### 4.2.2. Actividades y cronograma del proyecto

La implementación de la reutilización de aguas residuales con humedales artificiales en la Isla de Maipo para contribuir con el problema de tratamiento de aguas grises del lugar contempla las etapas de evaluación de sitios potenciales y diseño del sistema de tratamiento, obtención de permisos y regulaciones, construcción del humedal, la puesta en marcha y los ajustes necesarios junto a entrenamiento de capacidades para la población beneficiaria. La Tabla 17 detalla las actividades y el cronograma propuesto.

Tabla 17. Actividades y cronograma de la tecnología 2

Actividades	Actores claves	Meses de implementación																			
		Año 1						Año 2													
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6								
<b>Evaluación de Sitios y Diseño</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Licitación para un diagnóstico de caracterización de las aguas residuales de Isla de Maipo</li> <li>Licitación para identificación y diseño del humedal teniendo en cuenta el volumen de agua a tratar, la elección de plantas adecuadas (especies nativas de la zona) y el diseño del flujo del agua. Incluir el sistema de reutilización del agua a predios agrícolas de la zona.</li> </ul>	SISS MOP Municipalidad de Isla de Maipo	■	■	■																	
<b>Obtención de permisos y regulaciones:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Obtención de permisos necesarios de espacio y salud para la construcción del humedal</li> </ul>	Municipalidad de Isla de Maipo Comunidad				■	■															
<b>Construcción del Humedal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adquisición y traslado de materiales</li> <li>Construcción de la infraestructura física del humedal, incluyendo la excavación, la creación de estanques o canales, y la plantación de vegetación.</li> </ul>	SISS MOP Municipalidad de Isla de Maipo Comunidad						■	■													
<b>Inicio de Operaciones (puesta en marcha) y Monitoreo Inicial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Comenzar el proceso de depuración. Monitorear la calidad del agua y el crecimiento de las plantas para evaluar la eficacia del sistema.</li> <li>Corrección de errores de la puesta en marcha</li> <li>Evaluación de la calidad del agua residual tratada para el cumplimiento de los estándares de riego</li> </ul>	SISS MOP Municipalidad de Isla de Maipo Comunidad											■	■	■							
<b>Ajustes y Educación Comunitaria</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar ajustes en la operación del humedal sobre la base de los resultados del monitoreo, por ejemplo, modificar el flujo de agua o añadir más vegetación.</li> <li>Difusión de los resultados de factibilidad y beneficios del piloto implementado</li> </ul>	SISS MOP Municipalidad de Isla de Maipo Comunidad																			■	■

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las especificaciones técnicas de cada proyecto dependerán de su alcance, la geografía del lugar, los actores involucrados y el tipo de tecnología a implementar. Sin perjuicio de ello, en el Box 2 se presentan algunas consideraciones técnicas para tener en cuenta para la implementación de la idea de proyecto.

Finalmente, los plazos propuestos son referenciales y están sujetos a modificación dependiendo del alcance de cada proyecto.

### **4.2.3. Relación con las prioridades del país**

El proyecto de reutilización de aguas tratadas se ve respaldado con diferentes prioridades a nivel nacional:

- a) Se alinea con la medida 1 y 2 del Plan Nacional de Adaptación del sector Silvoagropecuario, que plantea fortalecer la planificación y gestión de recursos hídricos a nivel nacional para optimizar el uso del agua en la agricultura y optimizar el uso del agua de riego a nivel predial a través de una intensiva acción de mejoramiento tecnológico y procedimientos de gestión del recurso.
- b) La ECLP identifica la incorporación de humedales artificiales como Soluciones Basadas en la Naturaleza para preservar y aumentar los servicios ecosistémicos que proveen. Asimismo, se alinea con el objetivo 7 de la estrategia, de fomentar el manejo y conservación de humedales orientándose hacia la producción de bienes y servicios ecosistémicos.
- c) La legislación, a través de la ley N°21.075, busca fomentar la reutilización de aguas grises en distintos usos, como el riego de jardines y el lavado de inodoros, con el fin de reducir el consumo de agua potable. Esta ley considera la posibilidad de implementar tecnologías para el tratamiento de aguas grises, con el fin de asegurar que el agua reutilizada cumpla con los estándares de calidad necesarios.
- d) El Informe Final de la Mesa Nacional de Agua 2022 identificó como uno de sus ejes prioritarios el Plan de Infraestructura Hídrica y la Incorporación de Nuevas Fuentes de Agua, el cual es una política que debe brindar lineamientos que estimulen la inversión pública y privada para el desarrollo equilibrado y sustentable de nuevas fuentes de aguas, tales como la desalinización, el reúso de aguas servidas tratadas, la recolección de aguas lluvias y la infiltración artificial de acuíferos.

### **4.2.4. Co-beneficios del proyecto**

La implementación de proyectos de reutilización de agua residual con humedales depuradores ya sea en entornos rurales o urbanos, puede proporcionar diversos beneficios.

#### **Ambientales:**

- Los humedales artificiales son efectivos en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales, incluyendo nutrientes, metales pesados y patógenos.
- Crean hábitats para diversas especies de flora y fauna, aumentando la biodiversidad local.

- Esta es una SbN, lo que implica aprovechar el recurso agua de lluvia para aumentar la disponibilidad de agua para actividades productivas de la localidad. Esto contribuye a aumentar la seguridad hídrica y promover prácticas ambientalmente sostenibles.

#### **Económicos:**

- El ahorro de agua contribuye a la reducción en el coste del servicio familiar.
- Los humedales artificiales son a menudo más económicos de construir y mantener que los sistemas de tratamiento convencionales.
- Dado a que esta práctica se fusiona con el paisaje local pueden atraer visitantes y turistas, generando ingresos a través del ecoturismo.

#### **Social:**

- Pueden utilizarse como herramientas educativas para enseñar sobre el tratamiento del agua y la conservación del medio ambiente.
- La planificación e implementación de este proyecto involucrará a las comunidades locales, fomentando la participación y el compromiso ciudadano.
- Este proyecto beneficia la educación ambiental, este tipo de iniciativa puede servir como una plataforma o proyectos piloto para educar a la comunidad sobre la importancia de la gestión sostenible del agua y la conservación del medio ambiente.

### **4.2.5. Presupuesto del proyecto**

Para la implementación de esta idea de proyecto, se estima un costo de 525.000,00 USD.

**Tabla 18. Estimación de costos de la idea de proyecto de la tecnología 2**

Actividad	Subactividad	Concepto de costo	Valor (USD)	Supuestos
<b>Evaluación de Sitios y Diseño</b>	Licitación para un diagnóstico de caracterización de las aguas residuales de la Isla de Maipo	Costos de consultoría, estudios previos y diseño del proyecto	75.000,00	Incluye análisis del suelo, topografía, y estudios hidrológicos.
	Licitación para identificación y diseño del humedal teniendo en cuenta el volumen de agua a tratar, la elección de plantas adecuadas (especies nativas de la zona) y el diseño del flujo del agua. Incluir el sistema de reutilización del agua a predios agrícolas de la zona.			Considera la complejidad de integrar sistemas de tratamiento de agua con criterios de diseño paisajístico y agronómico.
<b>Obtención de permisos y regulaciones</b>	Obtención de permisos necesarios de espacio y salud para la construcción del humedal.	Evaluación Ambiental y Permisos de Construcción	60.000,00	Incluye estudios técnicos, revisiones de planos y documentación.
<b>Construcción del Humedal</b>	Adquisición y traslado de materiales	Materiales y Obra Civil	320.000,00	Considera un 30% de mano de obra y 15% para la gestión administrativa del proyecto.
	Construcción de la infraestructura física del humedal, incluyendo la excavación, la creación de estanques o canales, y la plantación de vegetación.			

Actividad	Subactividad	Concepto de costo	Valor (USD)	Supuestos
<b>Inicio de Operaciones (puesta en marcha) y Monitoreo Inicial</b>	Comenzar el proceso de depuración. Monitorear la calidad del agua y el crecimiento de las plantas para evaluar la eficacia del sistema.	Equipos de monitoreo (sondas de calidad), Análisis de laboratorio.	40.000,00	Considera un 10% del total de la construcción para ajustes.
	Corrección de errores de la puesta en marcha.			
	Evaluación de la calidad del agua residual tratada para el cumplimiento de los estándares de riego.			
<b>Ajustes y Educación Comunitaria</b>	Realizar ajustes en la operación del humedal basados en los resultados del monitoreo, por ejemplo, modificar el flujo de agua o añadir más vegetación.	Equipos de monitoreo, análisis de laboratorio, materiales divulgativos y mano de obra especializada.	30.000,00	
	Difusión de los resultados de factibilidad y beneficios del piloto implementado			
<b>Total</b>			<b>525.000,00</b>	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6. Medidas de gestión de riesgo

La implementación de un sistema de tratamiento de agua residual con humedales artificiales en una comunidad rural para reutilizar las aguas tratadas en actividades de riego presenta varios riesgos y desafíos, detallados a continuación, junto con sus correspondientes medidas de gestión.

- a) El cálculo de las dimensiones del humedal y su tipología dependen de las condiciones poblacionales y geográficas de la zona seleccionada. Un error en los cálculos, o datos inexactos pueden resultar en un diseño inadecuado del humedal que puede llevar a una depuración ineficiente o a fallas estructurales. Por ello, en la primera etapa del piloto se propone realizar estudios de factibilidad exhaustivos, incluyendo análisis del terreno y evaluaciones ambientales, y la consulta con expertos en humedales y diseño de infraestructura.
- b) Una entrada excesiva de aguas residuales puede sobrecargar el humedal, reduciendo su eficiencia. Esto podría deberse a un aumento de la población comunitaria, o a un aumento de las aguas residuales por diversos procesos. En dicho caso, será necesario un redimensionamiento del humedal para asegurar su buen funcionamiento y no se reduzca su tiempo de vida óptimo.
- c) La falta de aceptación o comprensión de la comunidad local puede obstaculizar la implementación del proyecto. Por ello, se sugiere incorporar a representantes comunales en todas las etapas del proyecto. Adicionalmente, se podrían desarrollar programas de educación y participación comunitaria para informar sobre los beneficios del humedal y fomentar la apropiación local.

### 4.3. Idea de proyecto tecnología 3: SCALL

La idea de proyecto propone la implementación de un Programa Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (Programa SCALL en adelante) para comunidades con escasez de recursos hídricos para riego,

el cual complementará los sistemas existentes de Agua Potable Rural (APR)<sup>11</sup> en la macrozona centro-sur de Chile. Estos sistemas estarían diseñados para recolectar y almacenar agua de lluvia, reduciendo la dependencia del suministro de agua potable para usos no potables y abordando los desafíos de abastecimiento en zonas aisladas.

La macrozona centro sur que incluye a las regiones de O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío [45] cuenta con aproximadamente 39 APR en sus territorios [46]. Sin embargo, la provisión de los servicios de agua potable para áreas rurales en condiciones de calidad, continuidad y cantidad sigue siendo un desafío, principalmente por la dispersión de las viviendas, características geográficas, pobreza, bajo uso de tecnologías de tratamiento no convencionales para la provisión de los servicios y dificultades para ofrecer asistencia técnica y capacitación a los prestadores de los servicios que generalmente cuentan con una reducida capacidad financiera, administrativa y técnica [47].

Esto se sustenta en las estadísticas, dado que a pesar de que el 53% de las viviendas en el área rural de Chile están conectadas a la Red Pública de Agua, aún existe un 10% de las viviendas rurales (aproximadamente 100 mil según el Censo 2017) que no cuenta con abastecimiento de agua y de las que tenían, tres de cada cuatro eran abastecidas por sistemas de tecnología mejorada (red pública individual o compartida, pozos y camión aljibe)<sup>12</sup>.

Sin embargo, la otra cara de la moneda es que la macrozona centro sur tiene una fuente de agua que ha pasado desapercibida, y cuya usabilidad podría contribuir a fortalecer el sistema del APR de las regiones. Por un lado, las regiones de O'Higgins y Maule tienen una densidad poblacional de 141,5 personas/km<sup>2</sup>, poseen un clima mediterráneo con precipitaciones moderadas, siendo el promedio anual de 943 mm/año que se concentran en invierno y una estación seca de 7 a 8 meses. Por su parte, las regiones de Ñuble y Biobío tienen una densidad poblacional de 32 personas/km<sup>2</sup>, poseen un clima templado lluvioso a marítimo lluvioso con abundantes precipitaciones que aumentan hacia el sur, con un promedio de lluvia caída de 2.420 mm/año<sup>13</sup> [48].

Esto indica que dichas regiones cuentan con agua de lluvia que podrían tratar y usar para sus diversas actividades.

### **4.3.1. Objetivos**

Implementar un Programa SCALL a nivel comunitario para fortalecer los APR en comunidades con escasez del recurso hídrico y carencia de abastecimiento de agua potable en zonas aisladas, mejorar la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento, y promover prácticas de gestión del agua más sostenibles y eficientes.

### **4.3.2. Actividades y cronograma del proyecto**

La implementación del Programa SCALL Comunitario en la macrozona centro-sur en comunidades rurales, aisladas y con escasez del recurso hídrico para el riego se propone para reforzar los APR, y contempla las siguientes etapas: adquisición de fondos mediante una postulación del actor líder, evaluaciones de las necesidades y diseño del programa, construcción e instalación, puesta en marcha,

---

<sup>11</sup> De acuerdo con la Ley N° 20.988: Regulación de Servicios Sanitarios Rurales [49].

<sup>12</sup> Obtenido de encuesta CASEN 2017: <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/encuesta-casen-2017>

<sup>13</sup> Cabe resaltar que este valor hace referencia al promedio de la macrozona Sur del Atlas del Agua del MOP, que abarca a las regiones de Biobío, la Araucanía, los Ríos y los Lagos.

verificación de la calidad del agua generada para el riego en la zona, capacitación comunitaria para el correcto uso del agua producida y monitoreo, evaluación y escalabilidad del Programa SCALL.

En ese sentido, la Tabla 19 detalla las actividades específicas y cronograma a desarrollar por el líder del proyecto.

**Tabla 19. Actividades y cronograma de la tecnología 3**

Actividades	Actores claves	Meses de implementación																				
		Año 1						Año 2														
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6									
<b>Postulación del proyecto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación y selección de la comunidad de la macrozona centro-sur beneficiada</li> <li>Diseño del modelo de gestión de los pilotos del Programa SCALL comunitario</li> <li>Postulación y aceptación del fondo de financiamiento</li> <li>Formulación del plan de trabajo</li> <li>Selección del líder del proyecto e involucramiento de aliados claves</li> </ul>	SISS MOP Autoridades locales																					
<b>Evaluación de necesidades y diseño</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Licitación de un diagnóstico de la disponibilidad hídrica de las zonas seleccionadas</li> <li>Identificación de las familias participantes y beneficiarias del proyecto, firma de compromiso de participación y uso del agua recolectada</li> <li>Diseño Hidrológico del SCALL (área de captación, sistema de conducción, cisterna de acumulación)</li> <li>Solicitud de permisos necesarios para la operación del Programa SCALL</li> </ul>	SISS MOP Autoridades locales																					
<b>Construcción e instalación</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adquisición de materiales para la construcción</li> <li>Construcción de la infraestructura necesaria para el SCALL, incluyendo la instalación de canaletas, tanques de almacenamiento y sistemas de filtración.</li> </ul>	SISS MOP Autoridades locales Población beneficiaria																					
<b>Puesta en marcha y ajustes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Iniciar el proceso del SCALL por un periodo de prueba</li> <li>Monitorear el progreso y hacer los ajustes necesarios para su correcto funcionamiento</li> <li>Caracterizar el agua generada y verificar el cumplimiento con los estándares de riego</li> </ul>	SISS MOP Autoridades locales Población beneficiaria																					
<b>Capacitación comunitaria en mantenimiento y uso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desarrollar e implementar programas de capacitación dirigidos a la comunidad local para enseñarle cómo usar y mantener el sistema SCALL. Esto incluiría formación sobre operaciones básicas del sistema, mantenimiento rutinario, identificación y solución de problemas comunes, y prácticas seguras de uso del agua.</li> <li>Organizar talleres y sesiones prácticas con expertos en sistemas de captación de agua y mantenimiento. Proveer materiales educativos y guías.</li> <li>Establecer un sistema de apoyo y asesoramiento continuo para resolver dudas o problemas que puedan surgir.</li> </ul>	SISS MOP Autoridades locales Población beneficiaria																					

Actividades	Actores claves	Meses de implementación											
		Año 1						Año 2					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<p><b>Monitoreo, evaluación y escalabilidad de los sistemas SCALL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Después del piloto, evaluar el rendimiento del sistema y su impacto en la comunidad</li> <li>Basado en esta evaluación, planificar y ejecutar una expansión del sistema para cubrir más áreas o mejorar las capacidades existentes.</li> <li>Difusión de los resultados de factibilidad del piloto implementado que incluya la cuantificación de las externalidades en base a la metodología elaborada a nivel ciudadanía</li> <li>Desarrollo de políticas de incentivo a la instalación de SCALL para satisfacer necesidades básicas y de subsistencia</li> </ul>	<p>SISS MOP Autoridades locales Población beneficiaria</p>												

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que las especificaciones técnicas de cada proyecto dependerán de su alcance, la geografía del lugar, los actores involucrados y el tipo de tecnología a implementar. Sin perjuicio de ello, en el Box 3Box 2 se presentan algunas consideraciones técnicas para tener en cuenta para la implementación de la idea de proyecto.

Finalmente, los plazos propuestos son referenciales y están sujetos a modificación dependiendo del alcance de cada proyecto.

### 4.3.3. Relación con las prioridades del país

El proyecto de implementación de un Programa SCALL a nivel comunitario se ve respaldado con diferentes prioridades a nivel nacional:

- Los compromisos de la NDC plantean puntos de convergencia con esta idea de proyecto: la meta del sector de adaptación propone que para 2030, cada proyecto de infraestructura pública para aguas contemple, en su evaluación, la condición de proteger a la población y territorio (mediante obras fluviales) y/o atender en forma prioritaria las demandas asociadas al consumo humano urbano y/o rural, en su área de influencia.
- Por su parte, la ECLP hace referencia explícita al respaldo de esta tecnología en la medida número 18: "implementación de sistemas de captación de agua de lluvia para riego y consumo". En esta medida, se busca respaldar iniciativas que posibiliten la utilización del recurso hídrico disponible a través de las precipitaciones, orientadas hacia usos domésticos, la producción de hortalizas, vegetales, el riego de jardines y pequeños invernaderos, entre otras aplicaciones.
- A su vez, el Plan Sequía de la Dirección General de Aguas del MOP identifica como medidas para combatir la sequía la ampliación de la cobertura del APR y tecnificación del riego para producción de alimentos (agricultura). Esta tecnología se plantea como un complemento para reforzar el alcance de los APR y el agua generada se destinaría al riego familiar para producción de alimentos, por lo que se alinea con estas medidas.

- d) El Informe Final de la Mesa Nacional de Agua 2022 identificó como uno de sus ejes prioritarios el Plan de Infraestructura Hídrica y la Incorporación de Nuevas Fuentes de Agua, que es una política que debe contemplar el brindar lineamientos que estimulen la inversión pública y privada para el desarrollo equilibrado y sustentable de nuevas fuentes de aguas, tales como la desalinización, el reúso de aguas servidas tratadas, la recolección de aguas lluvias y la infiltración artificial de acuíferos.

#### **4.3.4. Co-beneficios del proyecto**

Varios sectores pueden verse favorecidos gracias a la tecnología SCALL, con diversos beneficios entre los que se encuentran:

##### **Beneficios ambientales:**

- Reduce la demanda de agua potable, lo que no solo contribuiría a la conservación de los recursos hídricos, sino que también aliviaría la presión sobre los APR.
- Su aplicación puede ser clave en la disminución de la erosión del suelo al reducir la escorrentía superficial.
- Aumenta la seguridad hídrica en épocas de sequías, ya que el SCALL poseerá una etapa de almacenamiento de agua para abastecer en épocas de escasez o sequía.
- Puede desempeñar un papel esencial en la protección de los ecosistemas acuáticos al limitar la extracción de agua de fuentes como ríos y acuíferos en cualquier época del año. En conjunto, estos beneficios demuestran el potencial integral de SCALL en promover la sostenibilidad y preservar la salud de los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos.

##### **Beneficios socioeconómicos:**

- Potencial de generar empleos en diversas fases, desde la fabricación hasta la instalación y el mantenimiento de los sistemas, contribuyendo así al crecimiento económico local. Cabe resaltar, que esta generación de puestos laborales y acceso a puestos de trabajo debe darse con igual de oportunidades para hombres y mujeres.
- Además, SCALL se presenta como una solución financiera para hogares, donde el agua generada de aplicación en riego o el hogar puede ayudar a reducir las facturas del servicio.
- Se destaca que esta tecnología puede desempeñar un papel crucial en la mejora de la productividad agrícola al proporcionar una fuente confiable de agua para riego, especialmente durante períodos de sequía, impulsando así la eficiencia y sostenibilidad en el sector agrícola.
- El acceso a agua limpia y segura tiene un impacto directo en la salud pública, dado que el uso de agua de lluvia, especialmente en zonas donde el suministro de agua es limitado o contaminado, puede reducir los riesgos de enfermedades relacionadas con el agua.
- La participación comunitaria en la implementación y mantenimiento del SCALL fomenta el empoderamiento local, incluyendo el involucramiento activo de las mujeres en todas las etapas del proceso, no solamente como espectadoras, sino como participantes.
- El proyecto puede ser una herramienta educativa para enseñar sobre la gestión sostenible del agua y la conservación ambiental

### 4.3.5. Presupuesto del proyecto

Para la implementación de esta idea de proyecto, se estima un costo de 452.000,00 USD.

Tabla 20. Estimación de costos de la idea de proyecto de la tecnología 3

Actividad	Subactividad	Concepto de costo	Valor (USD)	Supuestos
<b>Postulación del proyecto</b>	Identificación y selección de la comunidad de la macrozona centro-sur beneficiada	Mano de obra calificada y estudios detallados	70.000,00	Trabajo de campo, análisis y reuniones con las cuatro comunidades  Estudios hidrológicos y análisis de viabilidad.
	Licitación de un diagnóstico de la disponibilidad hídrica de las zonas seleccionadas			
	Diseño del modelo de gestión de los pilotos del Programa SCALL comunitario			
	Postulación y aceptación del fondo de financiamiento			
	Formulación del plan de trabajo			
<b>Evaluación de necesidades y diseño</b>	Identificación de las familias participantes y beneficiarias del proyecto, firma de compromiso de participación y uso del agua recolectada	Contratación de servicios de consultoría especializada	42.000,00	En proyectos que incluyen múltiples sistemas SCALL, podría ser posible lograr economías de escala en el diseño y la solicitud de permisos, potencialmente reduciendo el costo por unidad.
	Diseño hidrológico del SCALL (área de captación, sistema de conducción, cisterna de acumulación)			
	Solicitud de permisos necesarios para la operación del Programa SCALL			
<b>Construcción e instalación</b>	Adquisición de materiales para la construcción	Materiales y mano de obra	240.000,00	
	Construcción de la infraestructura necesaria para el SCALL, incluyendo la instalación de canaletas, tanques de almacenamiento y sistemas de filtración			
<b>Puesta en marcha y ajustes</b>	Iniciar el proceso del SCALL por un periodo de prueba	Mano de obra calificada y análisis de calidad de agua	35.000,00	
	Monitorear el progreso y hacer los ajustes necesarios para su correcto funcionamiento			
	Caracterizar el agua generada y verificar el cumplimiento con los estándares de riego			
<b>Capacitación comunitaria en mantenimiento y uso</b>	Desarrollar e implementar programas de capacitación dirigidos a la comunidad local para enseñarles cómo usar y mantener el sistema SCALL. Esto incluiría formación sobre operaciones básicas del sistema, mantenimiento rutinario, identificación y solución de problemas comunes, y prácticas seguras de uso del agua	Mano de obra y Materiales	30.000,00	Creación de líneas de asistencia, material de apoyo continuo, y seguimiento.  Diseño, materiales didácticos, y la realización de talleres en las cuatro comunidades.
	Establecer un sistema de apoyo y asesoramiento continuo para resolver dudas o problemas que puedan surgir.			
<b>Monitoreo, evaluación y</b>	Evaluación del rendimiento del sistema y su impacto en la comunidad	Contratación consultoría	35.000,00	

Actividad	Subactividad	Concepto de costo	Valor (USD)	Supuestos
escalabilidad de los sistemas SCALL	Planificar y ejecutar la expansión del sistema y mejorar las capacidades existentes			Estudios de factibilidad y diseño de estrategias de escalabilidad. Redacción, diseño y publicación.
	Desarrollar un manual de implementación del Programa SCALL Comunitario			
	Difusión de los resultados de factibilidad del piloto implementado que incluya la cuantificación de las externalidades en base al manual del Programa			
<b>Total</b>			<b>452.000,00</b>	(*)

Nota: (\*) Se asume un proyecto piloto en cada una de las regiones: O'Higgins, Maule, Ñuble, y Biobío y se asume a escala comunitaria.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.6. Medidas de gestión de riesgo

La implementación de SCALL comunitario en zonas rurales aisladas presenta varios riesgos y desafíos, detallados a continuación, junto con sus correspondientes medidas de gestión.

- a) La finalidad del SCALL es fortalecer los APR existentes, trabajando en conjunto con las entidades responsables para una gestión coordinada y eficiente del agua. Sin embargo, en zonas aisladas donde no existen APR o el problema de acceso al agua es crítico, hay sensación de abandono de la comunidad por parte de sus autoridades, puede haber un rechazo al acercamiento de autoridades para implementar esta tecnología. Para ello, se pueden establecer comités conjuntos de gestión, desarrollar protocolos claros de operación y mantenimiento, y realizar reuniones regulares para la toma de decisiones y resolución de conflictos. Esto asegura una implementación sinérgica que aprovecha la infraestructura y experiencia existentes de los APR, mejorando la eficiencia y eficacia en la gestión del agua.
- b) Se deberán establecer pautas claras para el uso del agua proveniente del SCALL, diferenciando entre usos potables y no potables, siendo la finalidad de la idea de proyecto el uso no potable (riego, hogar u otros). Una opción es realizar campañas de educación sobre el uso seguro y eficiente del agua. Esto evitará el uso indebido del agua de lluvia para fines potables y prevenir riesgos para la salud y garantizar que el agua producida se utilice de manera eficiente.
- c) Al ser una tecnología desconocida en algunas comunidades, el escepticismo o rechazo podría darse al inicio del proyecto. Por ello, se deberá fomentar la participación de la comunidad en todas las etapas del proyecto, desde la planificación hasta la implementación y el mantenimiento. Para afrontar dicho riesgo, se deberán organizar talleres comunitarios, encuestas y grupos focales para recoger opiniones, sugerencias y enfatizar los beneficios del sistema. Así como involucrar a líderes comunitarios y representantes en el proceso de toma de decisiones. La participación ciudadana asegura que el proyecto atienda las necesidades y preocupaciones locales, aumentando la aceptación y el compromiso de la comunidad.

## Referencias bibliográficas

- [1] Amulén. Fundación del Agua., «Pobres de agua. Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto.» 2020.
- [2] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, «BCN,» 27 1 2023. [En línea]. Available: <https://www.doe.cl/alerta/27012023/202301273001>. [Último acceso: 5 4 2023].
- [3] SISS, «Informe de gestión del sector sanitario,» 2022.
- [4] G. Donoso y D. Rivera, Desafíos del reuso de agua residuales tratadas en Chile, 2020.
- [5] A. Gamez, «Aplicación de técnicas de Machine Learning para la detección de fugas en tubería horizontal que transporta una mezcla de agua y glicerol,» 2021.
- [6] J. Lobos, *Detección y localización de fugas en redes de distribución de agua potable en una gran ciudad de Chile mediante un algoritmo de clasificación de redes neuronales*, Santiago de Chile, 2022.
- [7] M. Banoula, «Machine Learning Steps: A Complete Guide,» 2023.
- [8] Gobierno de Chile, «Contribución Determinada a Nivel Nacional de Chile,» 2020.
- [9] Ministerio de Obras Públicas, «Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012-2025,» 2012.
- [10] Dicuchile, «Seminario RHMA: "Reúso de aguas servidas y aguas grises tratadas",» 2021.
- [11] P. Sala, «Los Andes Online,» 2017. [En línea]. Available: <http://losandesonline.cl/noticias/36942/mision-reducir-al-maximo-la-perdida-de-agua.html>.
- [12] A. Estrada, «¿Cómo reducir las fugas en las redes de distribución? Estudio del consumo nocturno como herramienta de detección,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/como-reducir-las-fugas-en-las-redes-de-distribucion-TyYB>.
- [13] Gárate, *Detección y localización de fugas en parte de la red de distribución de aguas de Santiago, utilizando una máquina de vector de apoyo (SVM)*, Santiago de Chile, 2020.
- [14] C. Fernandez, «Portafolio Medidas Acciones Soluciones MAS – Seguridad Hídrica,» 2019.
- [15] Fundación Chile, *Webinar: El Potencial de la Inteligencia Artificial para Chile*, 2021.
- [16] B. Gárate, *DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUGAS EN PARTE DE LA RED DE*, 2021.
- [17] M. Ramírez, *Metodología de evaluación de pérdidas de agua potable y análisis de factibilidad de medición continua en grandes conducciones. caso: Gran alimentadora - Valparaíso*, 2017.
- [18] INGEMAB, «Estándares para la determinación de las aguas no facturadas y balance de aguas,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/>.
- [19] Fundación Chile, «Aguas residuales como nueva fuente de agua: Diagnóstico del potencial de reúso de aguas residuales en la región de Valparaíso,» 2016.

- [20] D. Suero, R. Pastor, R. Miglio y M. Saca, «Humedales construidos para el saneamiento en la comunidad campesina de Haparquilla, Cusco, Perú,» *Sesiones Orales*, pp. 1-4, 2017.
- [21] F. Sepulveda, «REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS SERVIDAS. SU RÉGIMEN JURÍDICO A LA,» 2023.
- [22] Superintendencia de Servicios Sanitarios, «Informe de gestión del sector sanitario 2021,» 2022.
- [23] C. L. K. S. y. D. S. Maria Eugenia de la Peña, «IADB,» 9 2022. [En línea]. Available: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/EL-reuso-de-agua-residual-tratada-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>. [Último acceso: 7 5 2023].
- [24] M. De la Peña, C. Larrea, K. Sasaki y D. Smith, «El reúso de agua residual tratada en América Latina y el Caribe: 10 e studios de c aso,» 2022.
- [25] R. Sala-Garrido, M. Molinos, R. Fuentes y F. Hernández, «Reutilización de agua: estado actual y perspectivas,» 2020.
- [26] D. Donoso y D. Rivera, «DESAFÍOS DEL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES,» 2020.
- [27] D. Rivera, «Propiedad, disposición y reutilización de aguas residuales tratadas: una controversia no resuelta,» 2019.
- [28] R. Pizarro, A. Abarzo, C. Morales, R. Calderon, J. Tápia, P. Garcia y M. Córdova, «Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvia en zonas rurales de Chile,» 2015.
- [29] M. Cabrera, «Biobiochile.cl,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.biobiochile.cl/noticias/nacional/region-de-los-rios/2023/04/20/los-rios-destinan-280-millones-para-abastecer-zonas-rurales-con-agua-potable-con-camiones-aljibe.shtml>.
- [30] City Adapt, «Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL),» [En línea]. Available: [https://cityadapt.com/sbn\\_cityadapt/sistemas-de-captacion-de-agua-de-lluvia-scal/](https://cityadapt.com/sbn_cityadapt/sistemas-de-captacion-de-agua-de-lluvia-scal/).
- [31] Ministerio de Medio Ambiente, «EXPLORADOR DE AMENAZAS CLIMÁTICAS - ARCLIM,» [En línea]. Available: <https://arclim.mma.gob.cl/amenazas/>.
- [32] F. B. L. F. G. J. O. A. Á. y. G. V. Rodrigo Castillo, «[https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/09/N%C2%BA44\\_Serie-comunicacional-CRHIAM-Estudio-comparado-de-la-regulaci%C3%B3n-de-cosecha-de-aguas-lluvias.pdf](https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/09/N%C2%BA44_Serie-comunicacional-CRHIAM-Estudio-comparado-de-la-regulaci%C3%B3n-de-cosecha-de-aguas-lluvias.pdf),» 9 2022. [En línea]. Available: [https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/09/N%C2%BA44\\_Serie-comunicacional-CRHIAM-Estudio-comparado-de-la-regulaci%C3%B3n-de-cosecha-de-aguas-lluvias.pdf](https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/09/N%C2%BA44_Serie-comunicacional-CRHIAM-Estudio-comparado-de-la-regulaci%C3%B3n-de-cosecha-de-aguas-lluvias.pdf). [Último acceso: 6 5 2023].
- [33] PNUD, «Captación y aprovechamiento de agua de lluvia en América Latina: Experiencias y conclusiones en debate,» 2 2016. [En línea]. Available: [https://www.estudiospnud.cl/wp-content/uploads/2020/04/undp\\_cl\\_medioambiente\\_Captacion-agua-lluvia-AL.pdf](https://www.estudiospnud.cl/wp-content/uploads/2020/04/undp_cl_medioambiente_Captacion-agua-lluvia-AL.pdf). [Último acceso: 8 5 2023].
- [34] INDAP, *INDAP refuerza red de acumuladores de agua lluvia para el riego en Chiloé*, 2017.
- [35] INDAP, *INDAP INNOVA CON SISTEMA DE RIEGO DE AGUAS LLUVIA EN MAGALLANES*, 2015.
- [36] P. Cisneros, «Recolección en techos. Sustainable sanitation and wáter management toolbox.,» [En línea]. Available: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua-del-sistema/captacion-4/recolecci%C3%B3n-en-techos>.

- [37] S. Lara, *Valor de los sistemas de captación de agua lluvia en viviendas urbanas como dispositivo para adaptación para el cambio climático en contexto de sequía : caso de Casablanca, Quinta Región*, 2020.
- [38] Ministerio de Obras Públicas, «Ley 21435 Reforma de Código de Aguas,» 06 abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1174443>.
- [39] R. Castillo, F. Barriga, L. Fernández, G. Gloria, M. Ortega, A. Álvez y V. Gladys, *ESTUDIO COMPARADO DE LA REGULACIÓN DE COSECHA DE AGUAS LLUVIAS*, 2022.
- [40] G. Romeu, «El mercado del tratamiento de aguas en Chile,» Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Santiago de Chile, Santiago, 2014.
- [41] Club Iagua, «Chile pierde un tercio del agua potable que produce,» <https://www.iagua.es/noticias/chile/14/06/17/chile-pierde-un-tercio-del-agua-potable-que-produce-50991>, 17 06 2014. [En línea].
- [42] Banco Mundial, «Chile Rural Brief 2021,» 2021.
- [43] J. Ossandón, «Isla de Maipo 2022: la vida urbana sin alcantarillado,» Nota de prensa de BBCCL, 27 11 2022. [En línea]. Available: <https://www.biobiochile.cl/especial/bbcl-investiga/noticias/reportajes/2022/11/27/isla-de-maipo-2022-la-vida-urbana-sin-alcantarillado.shtml>.
- [44] BCN, «Isla de Maipo: Reporte Comunal 2023,» Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2023. [En línea]. Available: [https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas\\_v.html?anno=2023&idcom=13603](https://www.bcn.cl/siit/reportescomunales/comunas_v.html?anno=2023&idcom=13603).
- [45] Ministerio CTCL, «MinCiencia en el territorio,» [En línea]. Available: <https://www.minciencia.gob.cl/macrozonas/que-son-las-macrozonas/>.
- [46] MOP, «Cálculo del Indicador ODS 6.3.2 en Aguas Subterráneas de fuentes APR, periodo 2018 - 2019,» Minuta DCPRH N°13/2021, 2021.
- [47] M. Chacón, «Análisis del funcionamiento del Programa de Agua Potable Rural (APR) ante problemas de abastecimiento y ausencia de saneamiento en la zona sur de Chile: Caso del APR Bahía Manda,» Tesis de grado de la Universidad de Chile, Santiago, 2021.
- [48] Dirección General de Aguas, «Atlas del Agua de Chile,» 2016.
- [49] MOP, «Ley N° 20.988: Regulación de Servicios Sanitarios Rurales,» 2018.

## Anexo

### Anexo 1: Glosario

- **Agua gris**

Se define a las aguas grises como aguas servidas domésticas residuales provenientes de las tinajas de baño, duchas, lavaderos, lavatorios y otros, excluyendo las aguas negras.

- **Agua facturada (AF)**

Se dividen en dos grupos: el primer grupo se refiere a las aguas facturadas medidas, que incluyen todos los volúmenes de consumo registrados según el Protocolo PR 27001 "Sistema de facturación Clientes y Coberturas SIFAC II". Esto abarca a clientes regulados, no regulados, refacturaciones y gratuidades. El segundo grupo corresponde a las aguas facturadas no medidas, las cuales deben ser estimadas e informadas por la empresa de servicios sanitarios según corresponda. Un ejemplo de esto sería la venta de suministro a municipalidades para comunidades en condiciones de habitabilidad irregular. En estos casos, una forma de estimar el volumen asociado se realizará de la siguiente manera:

$$\text{Volumen estimado} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \right) = n^{\circ} \text{ habitantes} * \text{dotación según perfil del tipo de usuario sin alcantarillado} \left( \frac{\text{l}}{\text{per} * \text{día}} \right) * 30 \text{ días}$$

- **Aguas negras**

Se define a las aguas negras como aguas residuales que contienen excretas.

- **Agua no facturada (ANF)**

Se refiere a la cantidad de agua que no se registra en los sistemas de facturación debido a diferentes motivos. Se calcula restando la cantidad de agua facturada de la cantidad total producida, ya sea en plantas de tratamiento de agua potable o en estanques. Esto incluye tanto pérdidas físicas de agua en la infraestructura, como fugas en las tuberías, así como pérdidas aparentes, actividades ilícitas y otros usos de agua que no se reflejan en los registros de facturación. Ejemplos de estos usos no facturados pueden ser el suministro de agua para bomberos, el consumo en campamentos no registrados, el uso interno de las empresas, el purgado y lavado de redes y estanques, entre otros. Aproximadamente el 75% de esta cantidad corresponde a fugas de agua debido a problemas en las tuberías.

- **Agua residual**

Se define a las aguas residuales como aquellas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso.

- **Algoritmo de aprendizaje**

Un algoritmo de aprendizaje es un conjunto de instrucciones o reglas diseñadas para permitir a una máquina o sistema automatizado aprender de los datos y mejorar su rendimiento en una tarea específica a lo largo del tiempo. Puede ser de diversos tipos tales como:

- a) Algoritmo de aprendizaje supervisado: Es aquel en que se proporciona un conjunto de datos de entrenamiento etiquetados, es decir, se conocen las respuestas correctas. El algoritmo aprende a partir de estos datos y busca generar un modelo capaz de predecir las respuestas correctas para nuevos datos de entrada.

- b) Algoritmo de aprendizaje no supervisado: Utiliza datos de entrenamiento no etiquetados, lo que significa que no se conocen las respuestas correctas. El objetivo del algoritmo es descubrir patrones, estructuras o agrupaciones en los datos sin la guía de etiquetas preexistentes. Algunos ejemplos de algoritmos no supervisados son las redes neuronales.

- **APR**

El Programa de Agua Potable Rural (APR) tiene como fin “contribuir a mejorar las condiciones de salud y bienestar de la población rural” con el propósito de que la “población residente en localidades rurales concentradas y semiconcentradas acceda a un sistema de agua potable rural que provea un servicio en cantidad, calidad y continuidad en conformidad a la normativa vigente”. Para lograr sus objetivos, el programa proporciona un sistema de infraestructura de agua potable rural a localidades rurales concentradas y semiconcentradas.

- **Emisiones submarinas**

Se refiere a la conducción cerrada, preferentemente a través de una tubería, que transporta las aguas residuales desde un punto de tratamiento hasta una zona de descarga en un cuerpo receptor.

- **Redes neuronales**

Las redes neuronales son un tipo de algoritmo de aprendizaje automático inspirado en el funcionamiento del cerebro humano. Consisten en capas de neuronas interconectadas, donde cada neurona realiza operaciones matemáticas en los datos de entrada y pasa la información a la siguiente capa. Estas redes tienen la capacidad de aprender y adaptarse a partir de los datos mediante el ajuste de los pesos de las conexiones entre las neuronas. Las redes neuronales son conocidas por su capacidad para modelar relaciones complejas y reconocer patrones en los datos.

- **Tratamiento de aguas residuales**

Un esquema general de tratamiento de aguas residuales se compone de las siguientes etapas:

- a) **Pretratamiento:** Esta etapa tiene como objetivo eliminar los elementos que podrían causar problemas en el mantenimiento y funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento. Estos elementos incluyen objetos como ramas, piedras, arena, aceites y grasas, entre otros, que pueden afectar el sistema de tratamiento.
- b) **Tratamiento Primario:** En esta fase se llevan a cabo procesos fisicoquímicos para eliminar tanto los compuestos orgánicos como los inorgánicos presentes en el agua. Se emplean métodos como la sedimentación, la coagulación y la filtración para separar y remover estos productos no deseados.
- c) **Tratamiento Secundario:** El objetivo principal del tratamiento secundario es eliminar la materia orgánica, especialmente la disuelta, a través de procesos biológicos. Se utilizan microorganismos, como bacterias y otros microorganismos aeróbicos o anaeróbicos, para descomponer y metabolizar los compuestos orgánicos presentes en el agua.
- d) **Tratamiento Terciario:** En esta etapa se lleva a cabo la eliminación de materia inorgánica y recalcitrante, es decir, sustancias que son difíciles de degradar o remover mediante los tratamientos primario y secundario. Se emplean técnicas avanzadas como la filtración de membrana, la adsorción o la oxidación química para lograr una mayor calidad del agua tratada.

- e) **Sanitización o Desinfección:** Es la fase final del proceso de tratamiento y tiene como objetivo eliminar los microorganismos presentes en el agua mediante procesos fisicoquímicos. Se utilizan agentes desinfectantes, como el cloro o el ozono, para garantizar la eliminación de bacterias, virus y otros patógenos, y así obtener agua segura y apta para su uso.

## Anexo 2. Metodología BAEF

La metodología desarrollada para identificar las barreras identificadas y desarrollar sus correspondientes medidas propuestas para superarlas se basó en las recomendaciones del documento *Overcoming Barriers to the Transfer and Diffusion of Climate Technologies*. Esta metodología fue modificada en base al contexto nacional, distinguiéndose finalmente 4 etapas:

- Identificación de todas las posibles barreras a través de encuestas bibliográficas y lluvias de ideas en un taller virtual con el grupo técnico del sector gestión de residuos (ver Box 1).
- Revisión de la lista general de barreras para seleccionar las más esenciales en un taller virtual con el grupo técnico de del sector gestión de residuos (ver Box 1).
- Descomposición de las barreras esenciales seleccionadas en un análisis de causa – efecto.
- Desarrollo de medidas para superar las barreras traduciendo las barreras en soluciones

Figura 9. Metodología del BAEF



Fuente: Elaboración propia.

### Box 4. Metodología de dinámicas participativas en el proceso BAEF

El proceso fue llevado a cabo en 2 dinámicas: la validación de las barreras transversales y de cada tecnología, en un taller participativo (Cuarto grupo de trabajo sectorial) con el uso de la plataforma Mural y la clasificación de las barreras esenciales mediante un proceso asincrónico con el uso de una Hoja de Cálculo compartida con los actores claves. A continuación, se explica cada proceso.

- **Dinámica 1. Validación de barreras:** se expusieron las barreras identificadas a partir de revisión bibliográfica para que su validación a cargo de los miembros del grupo técnico. La pregunta realizada fue si la barrera o brecha existente

debería mantenerse, modificarse o quitarse. También, se agregaron nuevas barreras al tablero en el que se estaba trabajando. Este proceso se realizó para las barreras de cada tecnología.

**Detección y localización de fugas mediante algoritmos computacionales**

	Mantener	Agregar	Quitar
<p>Complejidad en el desarrollo de un marco regulatorio que se mantenga actualizado frente a los cambios tecnológicos.</p> <p>Responsabilidad difusa para fallas en los servicios de detección de fugas de tuberías: ¿El responsable es la empresa sanitaria por entregar una cantidad insuficiente de datos de ensayo? ¿El responsable la empresa a cargo del servicio de detección de fugas?</p> <p>Reto de experiencias previas en la implementación de esta tecnología (solo se identificaron ensayos a nivel piloto en la RM).</p> <p>La participación de mujeres en el campo de tecnologías de información es baja en Chile, por lo que la implementación de estas tecnologías en la industria del agua podría aumentar la brecha.</p> <p>[Nuevas]</p>	<p>Dificultad para incentivar la implementación de estas tecnologías debido a que el SISP no puede imponer metas de reducción de fugas.</p> <p>Limitada disponibilidad de datos referentes a fugas de agua detectadas.</p> <p>Requiere tiempos enteros para calibración y validación de los modelos.</p>	<p>SISP no tiene un personal grande y eso puede limitar su capacidad de control a las empresas sanitarias (incluido los pérdidas de agua). Referencia a la implementación de la tecnología.</p> <p>Las pérdidas derivadas de las fugas de agua pueden estar restringidas a la población (Para una regulación que considere que siempre puede haber pérdidas). El costo de resolver las fugas puede llegar a ser más alto que los beneficios potenciales.</p> <p>Limitada capacidad de reparación de fugas detectadas (las empresas sanitarias afirman que se detectan más fugas de las que se reportan).</p> <p>Dificultad para detectar fugas a nivel de viviendas.</p> <p>Dificultad para medir pérdidas en la zona rural.</p> <p>No es claro que bajar la pérdida en empresas modelo (e.g. de 30% a 10%) se traduzca en incentivo de reducción de fugas en la empresa que puede convertir pagar la diferencia.</p> <p>Empresas sanitarias están ligadas a carreras de ingeniería donde hay mayoría de hombres y posiblemente son en su mayoría hombres.</p>	

● Técnicas y de capacidades   
 ● Género   
 ● Ambientales   
 ● Institucionales, políticas y regulatorias   
 ● Económicas y financieras   
 ● Socioculturales, informativas y de concientización

- Dinámica 2. Identificación de barreras esenciales (o categorización).** Los miembros de cada mesa de trabajo sectorial asignaron el nivel de importancia a cada una de las barreras validadas en la anterior dinámica. Para ello, cada barrera fue categorizada como crucial, importante o poco esencial, de acuerdo con la importancia y prioridad que se le asignaba, como se indica a continuación:

Clasificación	Descripción	Puntuación
Barrera crucial	Son aquellas que, si no son superadas, la tecnología no será implementada.	3
Barrera importante	Pueden generar retrasos en la introducción de la tecnología.	2
Barrera poco esencial	El tipo de barreras que no ponen en riesgo la implementación de la tecnológica. Sin embargo, la superación de estas barreras facilita y potencializa el proceso, incrementando las posibilidades de éxito.	1

Tecnología 1. Detección y localización de fugas en la red de agua potable mediante Machine Learning		Pasos:	
		Rodrigo Farías	
Tipo de barrera	Barreras	¿Valida esta barrera?	Nivel de importancia que le asigna
Económico - financiero	No se ha determinado que porcentaje de fugas es rentable de resolver para las empresas sanitarias. No necesariamente resulta eficiente resolver todas las fugas de agua por lo que se debe establecer metas de reducción de fugas que tengan esto en consideración.	Mantener	Crucial
Institucionales, políticas y regulatorias	Responsabilidad legal difusa para fallas en los servicios de detección de fugas: La inteligencia artificial pueda generar información incorrecta o incompleta en términos de calidad, debido a fallos o deficiencias en su funcionamiento o porque la data entrada no es lo suficientemente robusta. En estos casos, no está claro quién sería responsable por las consecuencias de dichas fallas, lo que genera incertidumbre en cuanto al régimen de responsabilidad aplicable	Quitar	Poco esencial
Institucionales, políticas y regulatorias	Dificultad para incentivar la implementación de estas tecnologías: SISP no puede imponer metas de reducción de pérdidas y aguas no facturadas en las empresas sanitarias pues carece de la autoridad	Modificar	Crucial
	Limitada capacidad del SISP para asegurar la correcta		

El proceso de clasificación de barreras se realizó asincrónicamente (en un plazo de 2 semanas) en una Hoja de Cálculo compartida con los y las miembros del grupo de trabajo enviada vía correo electrónico, por lo cual, el trabajo se realizó de forma individual. Los resultados finales de dicha categorización se realizaron mediante promedio aritmético y se consideraron solo las instituciones que participaron.

**Producto 3.3: Desarrollo de un Plan de Acción Tecnológico para los sectores y subsectores prioritizados**

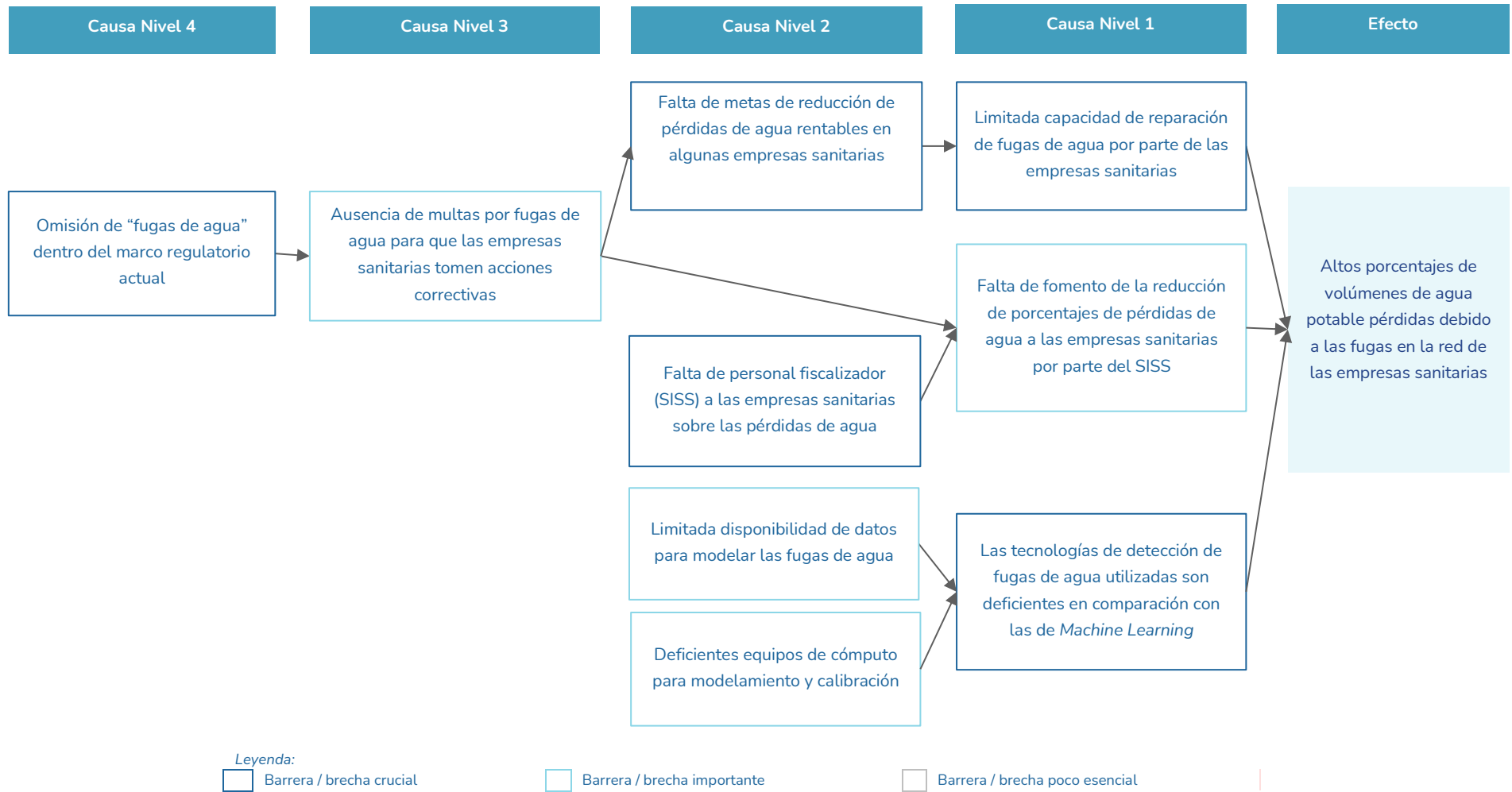
Evaluación de Necesidades Tecnológicas (TNA) y Plan de Acción Tecnológica (PAT) para la implementación de la NDC de Chile

A continuación, se mencionan las instituciones que participaron en las dinámicas del cuarto grupo de trabajo del sector residuos.

Taller 4/05/23	Hoja de Cálculo	Entrevistas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)</li><li>• Centro Cambio Global UC</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)</li><li>• Federación Nacional de Cooperativas de Servicios Sanitarios de Chile (FESAN)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Escenarios Hídricos al 2030 – Fundación Chile</li><li>• Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS)</li></ul>

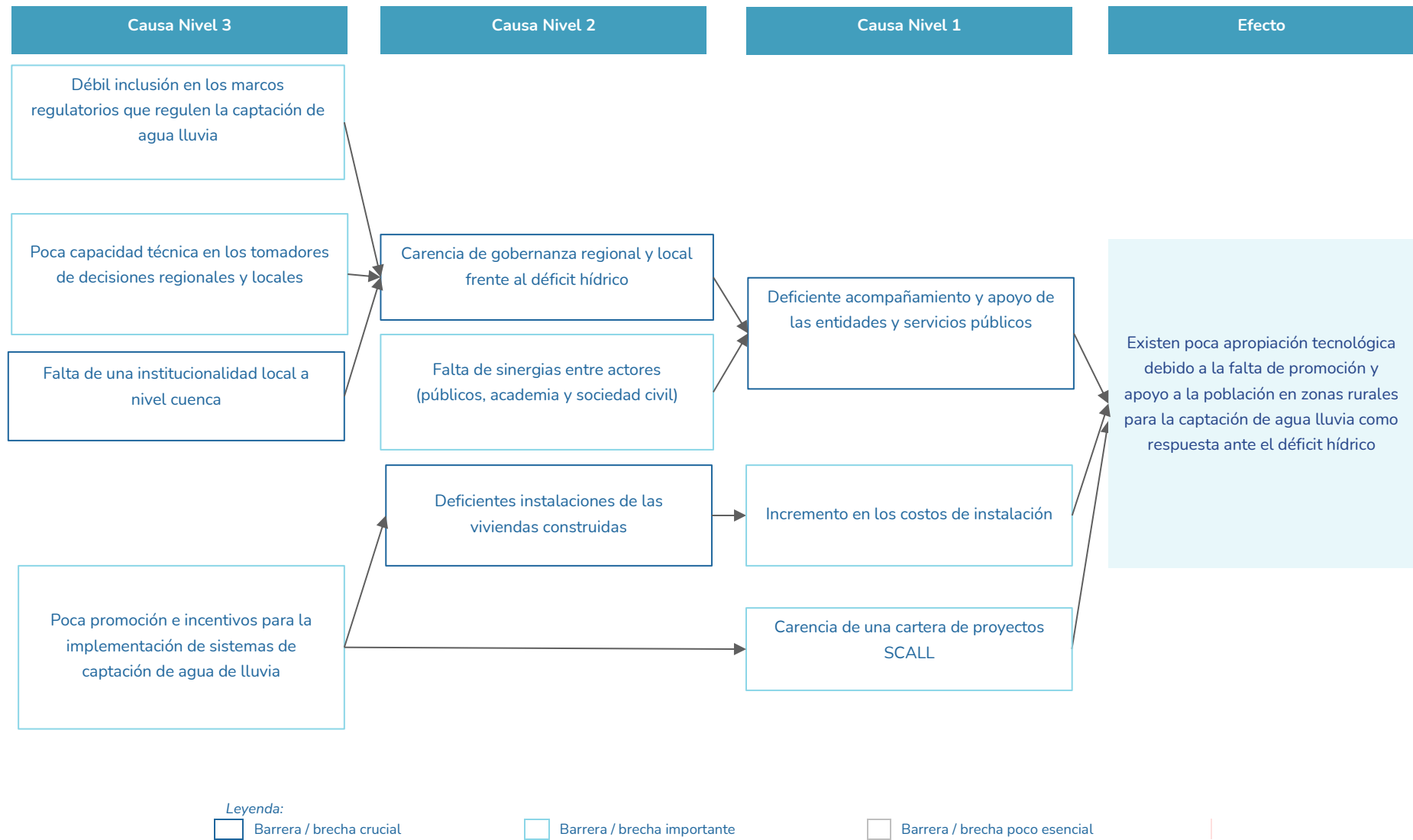
### Anexo 3. Esquemas causa - efecto

Figura 10. Esquema causa – efecto de las barreras y/o brechas existentes para la detección y localización de fugas en redes de distribución de agua con *machine learning*



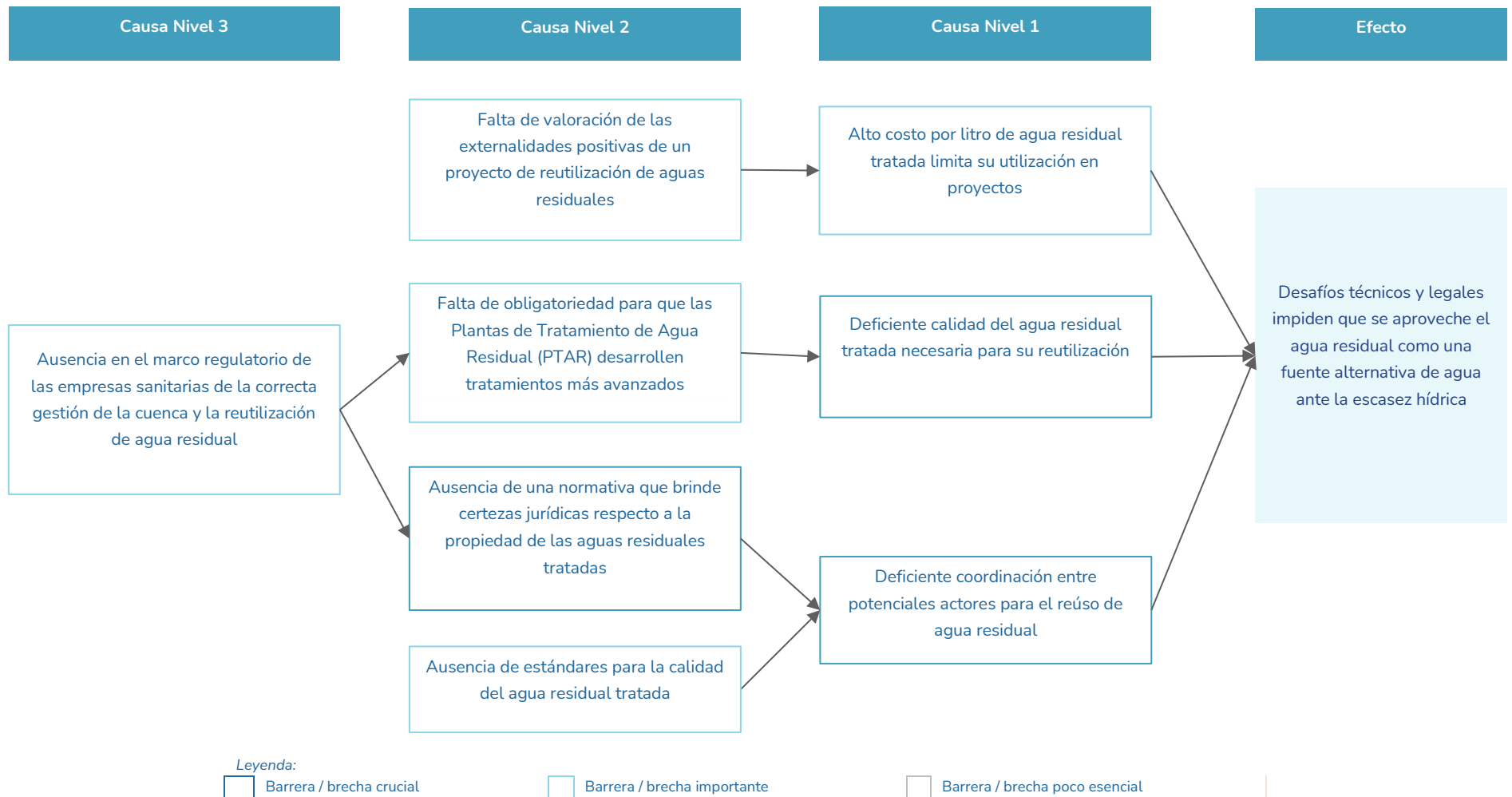
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 11. Esquema causa – efecto de las barreras y/o brechas existentes para la inserción de los sistemas de captación de aguas lluvia (SCALL)**

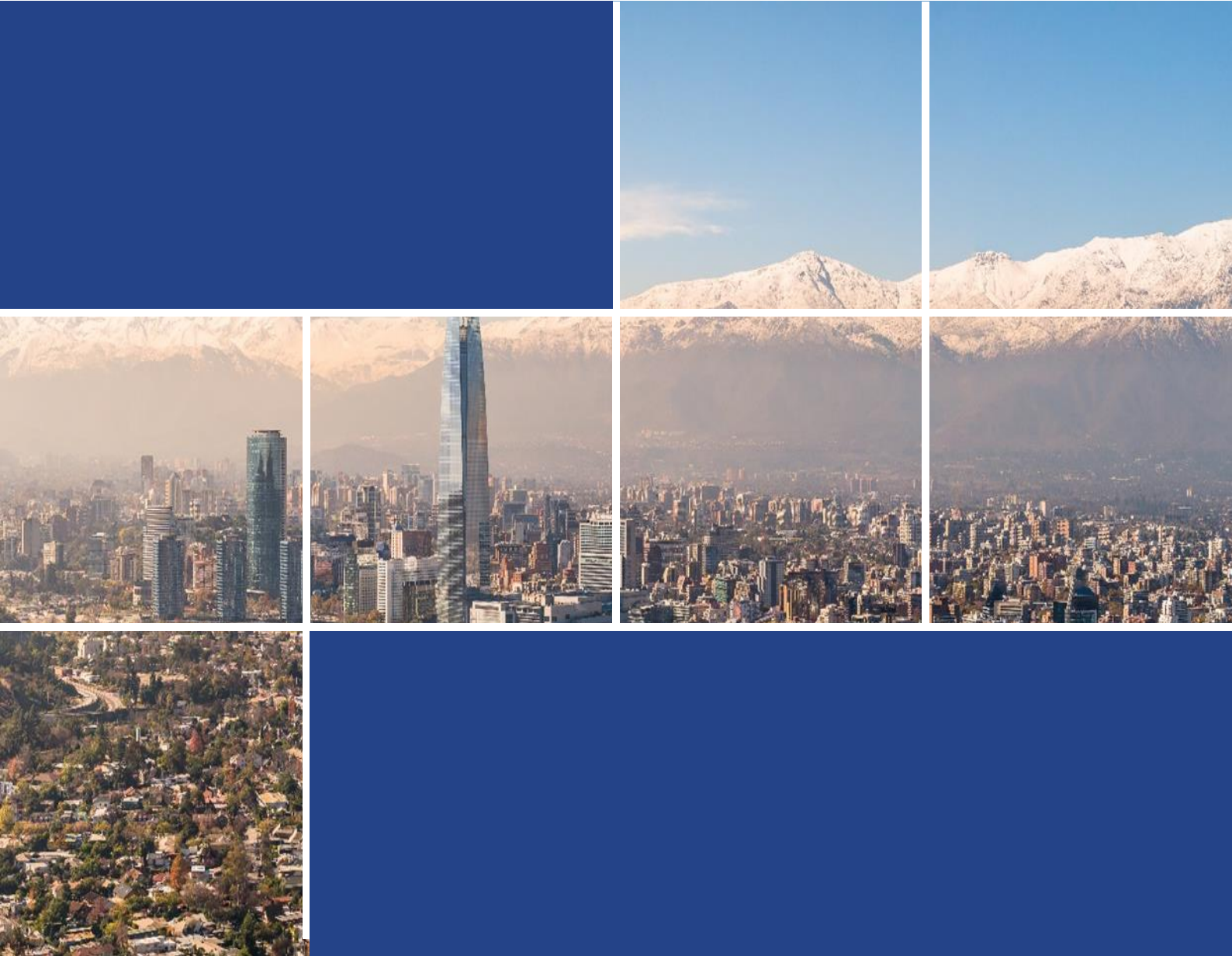


Fuente: Elaboración propia.

Figura 12. Esquema causa – efecto de las barreras y/o brechas existentes para la inserción de la tecnología de reutilización de agua residual urbanas



Fuente: Elaboración propia.



**DEUMAN**

[www.deuman.com](http://www.deuman.com)