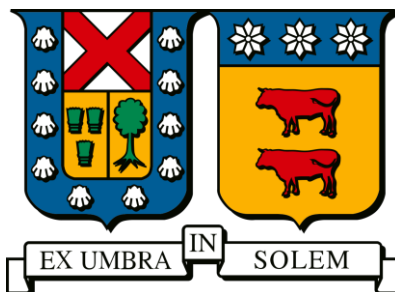


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

VALPARAÍSO, CHILE



“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN
DEL PROCEDIMIENTO DE MIGRACIÓN MÁS EFICIENTE A
UN PARQUE DE MEDICIÓN DE AGUA POTABLE MEDIANTE
LECTURA REMOTA”

MARÍA JOSÉ VALENTINA MARILAF CÁCERES

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

PROFESOR GUÍA: ALBERTO KRESSE ZAMORANO

PROFESOR CORREFERENTE: ÁLVARO OSSANDON ALVAREZ

Marzo, 2023

Agradecimientos

Un 14 de enero de 2015, cuando apenas tenía 17 años, estaba viajando a Valparaíso para matricularme en la que sería mi casa de estudios durante los siguientes años. Ese día, hice oficial un desafío que me había venido planteando hace algunos años: convertirme en ingeniera. Hoy, 8 años después, en esta instancia cúlmine de mi vida universitaria, quiero tomar este espacio para agradecer a las personas que hicieron posible cumplir mi meta que, si bien tuvo altos, bajos y bajísimos, hoy concluye finalmente.

Quiero agradecer a mis padres, Claudia y Marcos, por darme el enorme apoyo moral y económico que se requiere para enviar a una hija a la universidad en un país que entiende la educación como un privilegio y no como un derecho fundamental de todo individuo. Por su infinito amor y enseñanzas, que me dieron las alas para convertirme en la persona y profesional que soy ahora.

A mis abuelos, por recibirme con cálidos abrazos cuando volvía a Rancagua, y por mandarme de vuelta bien abastecida con comida. Sus regalones y preocupación fueron fundamentales para esta estudiante foránea intentado descifrar cómo vivir sola.

A mi compañero de carrera y de vida, Alejandro, por su paciencia, constancia y amor, y por haberme dado la ayuda académica y la contención emocional que requerí muchísimas veces. Estoy agradecida de haber conocido durante esta etapa a la persona con la cual formé el mejor equipo, el cual me da la confianza para afrontar la vida, se venga lo que se venga.

A todos los amigos y compañeros que pasaron por este proceso conmigo, en el que pudimos vernos crecer profesionalmente. A los PPSYLCM, por estar siempre dispuestos a compartir sus apuntes, sus conocimientos, una conversación o unas cervezas.

Y, por último, pero no menos importante (como diría un gran rapero), quiero agradecerme a mí misma. Quiero agradecerme por creer en mí, por todo el duro trabajo que hice durante estos años, por sacrificar muchos días de descanso y por nunca renunciar a convertirme en ingeniera. Quiero agradecerme por cumplir la meta que se planteó la pequeña de hace 8 años que aún vive en mí, y por hacerla sentir inmensamente orgullosa.

Resumen

En Chile, a la fecha, la mayoría de los hogares cuentan con medidores de agua potable de operación mecánica (volumétricos y velocimétricos), donde la lectura se realiza de manera presencial y manual. Esta forma de lectura, que podría considerarse obsoleta, presenta una serie de inconvenientes, ya que aumenta la probabilidad de errores en la lectura y registro de datos. Los medidores estáticos (electromagnéticos o ultrasónicos), pre equipados con lectura remota, ayudan a la identificación de fugas y detección de ilícitos, son más precisos y proporcionan información detallada sobre el consumo de agua. Esta tecnología permite a las personas tomar decisiones más informadas sobre cómo utilizar el recurso de manera más eficiente. Además, son una herramienta valiosa para las empresas sanitarias, las cuales pueden monitorizar y controlar los consumos de forma continua y más eficiente. Si bien esta tecnología para lectura remota de consumos existe y los fabricantes de estos dispositivos ofrecen una gama variada de soluciones, encontrar el punto de partida para llevar a cabo el recambio de medidores puede ser una tarea difícil para las empresas sanitarias, dado su mayor costo respecto de los actuales equipos. Por ello, el objetivo de este trabajo es proponer una metodología para seleccionar, dentro de universo de localidades urbanas atendidas por las empresas, aquellas en las que resulta más conveniente iniciar el recambio del parque por equipos con medición remota. Esta metodología hace uso del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) elaborado por el profesor y matemático Thomas Saaty en la década de los setenta, el cual descompone el problema de decisión en fracciones más pequeñas y fáciles de analizar bajo determinados criterios. Finalmente, el presente trabajo entrega una serie de recomendaciones adicionales para mejorar la eficiencia del proceso de migración, con la finalidad de servir de guía para las empresas sanitarias que deseen sumarse a una actualización del parque de medidores de agua potable.

Palabras Clave: Agua Potable, Medidores de Agua con Lectura Remota, Parque de Medidores de Agua Potable, Análisis Multi Criterio, Proceso de Jerarquía Analítica.

Abstract

In Chile, most of the households have mechanically operated drinking water meters (volumetric and velocimetric), where the reading is done in person and manually. This outdated way of reading presents disadvantages, as it increases the probability of errors in the reading and recording of data. Static meters (electromagnetic or ultrasonic), pre-equipped with remote reading, help to identify leaks, detect illicit activities, are more accurate and provide detailed and continuous information on water consumption. This technology allows people to make more informed decisions about how to use the resource more efficiently. In addition, is a valuable tool for water companies, which can monitor and control consumption more efficiently. While this technology for remote reading of consumption exists and manufacturers of these devices offer a wide range of solutions, finding the starting point for meter replacement can be a difficult task for water companies, given its higher costs. Therefore, the objective of this work is to propose a methodology to select, within the universe of urban locations served by the companies, those in which it is more convenient to start the replacement of the fleet with remote metering equipment. This methodology uses the Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by the mathematician and professor Thomas Saaty in the seventies, which decomposes the decision problem into smaller and easier to analyze fractions under certain criteria. Finally, this paper provides a series of additional recommendations to improve the efficiency of the migration process, in order to serve as a guide for water companies that want to join an upgrade of their drinking water meters.

Keywords: Drinking Water, Smart Water Metering (SWM), Drinking Water Meter Park, Multi-Criteria Analysis, Analytic Hierarchy Process (AHP).

Índice

1	Introducción	1
2	Objetivos	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos.....	3
3	Marco Teórico	4
3.1	Antecedentes generales	4
3.1.1	Tipos de medidores utilizados en Chile	4
3.1.2	Limitaciones del sistema de medición actual	6
3.1.3	Alternativa de solución.....	6
3.2	Descripción del sistema de medición remoto de agua potable.....	7
3.2.1	Tipos de lectura remota	7
3.2.2	Funcionamiento del sistema	7
3.2.3	Ventajas de la lectura remota	9
3.2.4	Equipos y Softwares utilizados	9
3.3	Partes interesadas	13
3.4	Normativa y estándares chilenos.....	15
3.5	Experiencia internacional.....	16
3.5.1	Implementación de SWM en Estados Unidos.....	16
3.5.2	Implementación de SWM en Reino Unido	16
3.5.3	Implementación de SWM en Australia	17
4	Etapas de la Investigación.....	18
5	Metodología de Evaluación.....	19
5.1	Análisis multicriterio.....	19
5.2	Explicación del método AHP.....	20
5.2.1	Consistencia de las matrices.....	22
5.3	Criterios a Considerar.....	23
5.3.1	Aspectos técnicos	23
5.3.2	Aspectos operacionales	23
5.3.3	Aspectos sociales.....	24
5.3.4	Aspectos económicos	24

6	Aplicación de la Metodología a un Caso de Estudio.....	25
6.1	Información a utilizar	25
6.2	Ajuste de escala de comparaciones	25
6.3	Descripción de las localidades del caso de estudio	27
6.3.1	Esquema de jerarquía	28
6.3.2	Matriz de criterios	28
6.3.3	Aplicación criterio “Geografía de la localidad”	29
6.3.4	Aplicación criterio “Edad de los medidores”	30
6.3.5	Aplicación criterio “Efectividad de la lectura”	30
6.3.6	Aplicación criterio “Localidades de alto riesgo”	31
6.3.7	Aplicación criterio “Consumo promedio de la localidad”	32
6.3.8	Aplicación criterio “Costo de la lectura presencial”	32
6.4	Aplicación del método AHP	32
7	Resultados	35
7.1	Ranking de localidades.....	35
7.2	Análisis de sensibilidad.....	36
8	Discusión y recomendaciones	38
8.1	Respecto a los consumidores.....	38
8.2	Respecto al estado regulador.....	38
8.3	Respecto a las empresas prestadoras de servicio.....	39
8.4	Respecto a la metodología de toma de decisiones	40
9	Referencias.....	41
10	Anexos.....	i

Índice de Tablas

Tabla 1: Número de medidores según tipo en Chile.	5
Tabla 2: Número de medidores que cuentan con dispositivos de fugas y número de medidores que cuentan con tecnología Smart Meter.	5
Tabla 3: Procesos de un sistema de medición inteligente.	8
Tabla 4: Descripción de las partes interesadas.	14
Tabla 5: Políticas de agua en (a) EE. UU., (b) Reino Unido y (c) Australia).	17
Tabla 6: Etapas de trabajo y relación de actividades con metodologías propuestas.	18
Tabla 7: Matriz de comparación tipo	20
Tabla 8: Escala fundamental para comparación de pares.....	21
Tabla 9: Valores de índice aleatorio.....	22
Tabla 10: Ratio de consistencia máximo según el tamaño de la matriz..	22
Tabla 11: Edad de los medidores actuales a nivel nacional.	23
Tabla 12: Tabla de comparación entre pares "GEOGRAFÍA DE LA LOCALIDAD".	25
Tabla 13: Tabla de comparación entre pares "EDAD DE LOS MEDIDORES".	25
Tabla 14: Tabla de comparación entre pares "EFECTIVIDAD DE LA LECTURA".	26
Tabla 15: Tabla de comparación entre pares "LOCALIDADES DE ALTO RIESGO".	26
Tabla 16: Tabla de comparación entre pares "CONSUMO PROMEDIO DE LA LOCALIDAD"..	26
Tabla 17: Tabla de comparación entre pares "COSTO DE LA LECTURA PRESENCIAL".	27
Tabla 18: Información de las localidades.....	27
Tabla 19: Matriz de ponderación de peso de los criterios.	29
Tabla 20: Datos utilizados para aplicación de criterio geográfico	29
Tabla 21: Fracción de medidores que superan los 10 años por comuna.	30
Tabla 22: Reporte estadístico de casos policiales de delitos de mayor connotación.....	31
Tabla 23: Conflictos de seguridad por comuna.....	31
Tabla 24: Consumo mensual promedio por cliente.....	32
Tabla 25: Costo en pesos de la lectura presencial por cliente..	32
Tabla 26: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Geografía de la localidad.	33
Tabla 27: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Edad de los medidores.	33
Tabla 28: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Efectividad en la Lectura.	33
Tabla 29: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Localidades de alto riesgo.....	34
Tabla 30: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Consumo promedio comuna.	34

Tabla 31: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Costo lectura presencial.	34
Tabla 32: Multiplicación de matrices para la toma de decisión.	35
Tabla 33: Orden sugerido para el recambio (de + recomendada a - recomendada).	35
Tabla 34: Matriz de ponderación de importancia para análisis de sensibilidad.	36
Tabla 35: Ranking de localidades según análisis de sensibilidad.	36
Tabla 36: Escala de comparaciones del criterio "Geografía de la localidad" para el análisis de sensibilidad.	37
Tabla 37: Ranking de localidades según análisis de sensibilidad.	37

Índice de Figuras

Figura 1: Esquema de funcionamiento del sistema remoto de lectura de datos.	7
Figura 2: Medidor modelo Aquadis con su sensor Cyble que permite la Telelectura.	10
Figura 3: Medidor volumétrico 640C/640MC.	10
Figura 4: Medidor electromagnético de flujo estático iPERL®.	11
Figura 5: (De izquierda a derecha), medidores de chorro único, chorro múltiple, volumétrico y dispositivo MyWater.	11
Figura 6: Medidor de chorro electrónico y medidor de ultrasonido.	11
Figura 7: Contadores de agua digitales y ultrasónicos.	12
Figura 8: Medidor residencial de agua ultrasónico.	12
Figura 9: Interacciones de partes interesadas.	13
Figura 10: Ejemplo de estructura jerárquica AHP.	20
Figura 11: Esquema de la metodología AHP aplicada al caso de estudio.	28

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Cálculo del índice de consistencia.	22
Ecuación 2: Cálculo de la proporción de consistencia.	22

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Efectividad de lectura presencial en Lonquimay, para el año 2022.	30
---	----

1 Introducción

Chile cuenta con servicios sanitarios urbanos de alto estándar. La Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) fiscaliza los estándares en la entrega del servicio y, en conjunto con el Ministerio de Salud (MINSAL), se garantiza que el agua potable entregada a la población sea segura para su consumo. Según el Informe de Gestión de la SISS (2021), la cobertura de los servicios sanitarios en el sector urbano alcanza el 99,94% en agua potable y 97,94% en alcantarillado. Estos datos posicionan a Chile dentro de los países más exitosos en cobertura y capacidad de la infraestructura sanitaria dentro de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

A pesar del alto nivel del servicio, existe aún una materia en la que no se ha avanzado, y es que actualmente en Chile, la mayor parte del parque de medidores de agua potable son estáticos (volumétricos o velocimétricos) y no tienen la tecnología Smart Meter que permite, entre otras cosas, la lectura remota de datos. Según el Informe de Gestión de la SISS (2021), el 98,8% de los medidores del país requieren de lectura presencial y registro manual, normalmente con frecuencia mensual o bimensual.

Este tipo de tecnología y su formato de registro y lectura presenta una serie de desventajas, ya que estos equipos no tienen la sensibilidad necesaria para la detección temprana de fugas o anomalías en la red interior de agua de las casas, provocando que, de haber una fuga, el consumidor no pueda percatarse instantáneamente, si no hasta que el operador del servicio, mediante una carta, le indique el consumo poco habitual que se está teniendo. Esto puede ocasionar problemas de humedad que se traducen en problemas estructurales y altos costos para el usuario además de la pérdida del valioso recurso.

Adicionalmente, el uso de equipos mecánicos de menor precisión es un problema para las empresas sanitarias que ven incrementadas sus pérdidas comerciales o aparentes. Estas pérdidas pueden deberse a que el medidor presenta subcontaje, consumos ilícitos debido a conexiones ilegales y errores humanos de lectura y transcripción de los datos (González, F., 2012).

Asimismo, en ocasiones se producen problemas operacionales en la lectura de los datos. En temporada de lluvias intensas o caída de nieve, algunas localidades del país quedan aisladas debido a que los caminos quedan cortados. Esto genera que la persona encargada de la lectura sea incapaz de llegar hasta las casas y registrar el consumo de éstas. Situación similar se da en la Región de la Araucanía, donde los conflictos sociopolíticos de la zona hacen que sea peligroso ingresar a ciertos sectores. (Disi, R., Quiroz, C., 2022).

Lo expuesto ha motivado la búsqueda de soluciones como la medición remota o Telelectura, la cual permite medir en tiempo real el consumo de agua de los hogares. Esta tecnología permite detectar anomalías de manera mucho más rápida y realizar mediciones más exactas en menor tiempo, obteniendo mejores estadísticas (efectividad en la lectura). De esta manera, se genera una ganancia para el usuario, para las empresas de suministros sanitarios y para el cuidado del recurso agua.

El recambio del parque de medidores de agua potable tiene costos operacionales y económicos asociados que, como sociedad, deberían asumirse para migrar hacia un mayor estándar de calidad de servicio. En este sentido, las empresas que entregan servicios sanitarios están avanzando en esta materia, ideando planes piloto de lectura remota en ciertas localidades y poniendo a prueba equipos y softwares de medición continua. Sin embargo, estas iniciativas no han sido reguladas en su totalidad ni se ha llegado a consenso sobre el estándar de los equipos o el alcance de los servicios futuros relacionados. El siguiente paso es idear un programa que permita realizar la actualización del parque de manera gradual, en el marco del autofinanciamiento de las sanitarias, entendiendo que estas nuevas tecnologías tendrán un mayor costo asociado.

La presente investigación tiene como objetivo analizar los diferentes factores, incluyendo aspectos técnicos, operacionales, económicos y sociales, que podrían impactar en la decisión de sustituir los medidores actuales por medidores con capacidad de medición remota en determinadas zonas geográficas. De esta manera, se propone una metodología basada en el método AHP propuesto por el profesor Thomas L. Saaty (1982), que permita ponderar las distintas variables, para determinar las localidades o zonas donde resulta más conveniente empezar a realizar la transición, priorizando su ejecución para mejorar la eficiencia global del proceso.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Proponer una metodología para identificar las localidades urbanas en las que es más conveniente comenzar el recambio del parque de medidores por equipos de medición remota, según una serie de criterios técnicos, operacionales, sociales y económicos.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar ventajas y obstáculos que enfrenta el recambio de medidores a partir de la revisión de aspectos técnicos, operacionales, sociales y económicos
- Diseñar una propuesta metodológica que permita ponderar y clasificar localidades según sus características.
- Validar la propuesta metodológica mediante la aplicación de esta a un caso de estudio.
- Proponer recomendaciones a las autoridades para la migración hacia un parque de medidores remoto.

3 Marco Teórico

3.1 Antecedentes generales

El consumo de agua potable en las viviendas de Chile se mide a través de medidores de agua, los cuales registran e indican el volumen consumido por los hogares para su posterior facturación. Existen distintos tipos de medidores utilizados para contabilizar el agua consumida a nivel domiciliario en Chile, los cuales cuentan con distintos tipos de tecnología y precisión.

3.1.1 Tipos de medidores utilizados en Chile

A partir del año 2013 en Chile se empieza a permitir el uso de medidores diferentes a los que se venían utilizando en aquellos años, que privilegiaban el uso de equipos de manufactura nacional (Ord. N°6204, 2014). Hasta esa fecha, los medidores permitidos correspondían únicamente a medidores velocimétricos de transmisión magnética. Este cambio permite incorporar al parque de medidores nuevas tecnologías del tipo volumétrico, ultrasónico, electromagnético y de flujo oscilante. Estos nuevos medidores permiten mejorar la precisión de los consumos de agua potable y el desarrollo tecnológico para que, en un futuro, el cliente pueda tener acceso a su información mediante plataformas WEB o aplicaciones.

Algunas de las tecnologías utilizadas en medidores de agua potable en Chile son las siguientes:

- Medidor velocimétrico de chorro único: Opera dejando pasar un chorro de agua que impacta un elemento móvil tipo turbina o hélice. La medición del volumen de agua se basa en integrar las revoluciones de este elemento, que toma la energía cinética conforme se produce el paso del agua en el sentido de mayor a menor presión. Las revoluciones por minuto integradas en el tiempo del elemento móvil harán la conversión al volumen registrado, de ahí el nombre velocimétrico.
- Medidor velocimétrico de chorro múltiple: Opera de manera similar al medidor de chorro único, pero en su interior tiene un eje con paletas que son golpeadas por varios chorros tangenciales de agua. Ambos tienen una precisión similar, sin embargo, este medidor tiene un costo y una durabilidad mayor, aunque es más susceptible a descalibrarse.
- Medidor volumétrico: Este medidor contabiliza el número de veces que se llena y vacía su cámara, la cual es de un volumen conocido. Los más comunes utilizan un pistón rotativo que cuenta el número de llenados de la cámara, pero también existen medidores que trabajan con un pistón oscilante.
- Medidor ultrasónico: Este medidor opera bajo el principio “diferencia de tiempo de tránsito”. Este aparato cuenta con dos sensores que perciben el diferencial de tiempo entre que la señal es emitida por uno y devuelta por el otro. Entre más tiempo se demore la señal en viajar entre los sensores, será mayor el flujo que está pasando por la tubería, con lo cual es posible registrar el volumen de agua consumido. Son muy útiles en el área industrial debido a que su aplicación es posible en grandes diámetros con una alta precisión.

- Medidor electromagnético: Utiliza el principio de Faraday, el cual dice que un campo electromagnético puede generar una corriente eléctrica. Como el agua potable es un líquido electroconductor, se puede utilizar este tipo de medidor, que incorpora en un par de bobinas que generan un campo magnético en toda la sección transversal del tubo. Al pasar el líquido, el campo magnético inducirá un voltaje que es proporcional a la velocidad del agua, con lo que se puede calcular el volumen del fluido al tener una sección conocida.
- Medidor de flujo oscilante: Contiene una válvula oscilante que perturba el paso del líquido que es capaz de oscilar a una frecuencia proporcional al caudal. Es muy poco utilizado para agua potable, se suele usar más para fluidos con partículas en suspensión.

Al año 2021 la SISS catastra las distintas tecnologías y su proporción dentro del parque de medidores en Chile, las que se presentan en la Tabla 1 siguiente.

Tabla 1: Número de medidores según tipo en Chile. Fuente: Informe de Gestión SISS 2021.

	Tecnología de Medición (N°)						
	Velocimétrico		Volumétrico	Ultrasónico	Electro-magnético	Flujo oscilante	Otro
	Chorro único	Chorro múltiple					
Total	1.079.166	3.791.300	647.602	14.068	30.602	0	12.580
País	19,4%	68,0%	11,6%	0,3%	0,5%	0,0%	0,2%

Como se puede ver en la tabla anterior, la tecnología más utilizada en Chile para la medición del agua potable sigue siendo los medidores velocimétricos, representando el 87,4% del parque de medidores.

Estos medidores pueden o no contar con el sistema Smart Meter, el cual permite la lectura remota de los datos registrados por el medidor. Esta tecnología es incipiente en Chile, lo que se ve reflejado en la Tabla 2, donde solo el 1,2% de los medidores cuentan con esta tecnología.

Tabla 2: Número de medidores que cuentan con dispositivos de fugas y número de medidores que cuentan con tecnología Smart Meter. Fuente: Informe de Gestión SISS 2021.

	Dispositivo de detección de fugas (N°)			Tecnología Smart Meter		
	Si		No	Si		No
	Análogo	Digital		Captura Presencial de Datos	Captura Remota de Datos	
Total	5.120.834	69.181	385.295	38.126	25.937	5.480.786
País	91,8%	1,2%	6,9%	0,7%	0,5%	98,8%

3.1.2 Limitaciones del sistema de medición actual

Según lo indicado en la Tabla 2, el 98,8% de los medidores de agua del país requieren de un operador que registre los datos de los medidores casa por casa todos los meses. Este sistema de medición presenta una serie de limitaciones y problemas operacionales, destacándose los siguientes:

- Errores humanos en la lectura y transcripción de los datos: Al ser una persona la que registra el consumo indicado en el medidor, se pueden cometer errores al visualizar el número que registra el aparato o al transcribir este valor.
- Viviendas sin acceso al medidor: Hay viviendas que tienen su medidor en una zona de difícil o nulo acceso para que el operador registre su consumo.
- Localidades de difícil acceso: Pueden existir localidades que queden aisladas debido a fuertes lluvias o nieves que corten el paso para que el operador pueda registrar los datos.
- Desconocimiento de las lecturas: Al no tener acceso a los medidores, las empresas se basan en el promedio histórico de consumo de los hogares para realizar la facturación, lo que puede llevar a pérdidas comerciales o conflictos con los clientes.
- Aparatos de baja tecnología: Los medidores de lectura presencial no tienen la capacidad de alertar por sí mismos de consumos irregulares o fugas en la red domiciliaria ya que no son capaces enviar información de consumo en tiempo real.
- Aumento de pérdidas: Al no poder detectar tempranamente fugas o consumos fraudulentos, se aumentan las pérdidas comerciales y se desperdicia el recurso.

3.1.3 Alternativa de solución

La lectura presencial que se da en casi la totalidad de los hogares en Chile evidencia la urgencia de actualizar el parque de medidores por nuevas y mejores tecnologías que eleven el estándar del servicio entregado. Por ello, las empresas prestadoras de servicios sanitarios han estado realizando planes piloto para el recambio del parque de medidores con el fin de evaluar los distintos equipos y sistemas de transmisión y registro de datos, con el objetivo de proveer de manera masiva a las viviendas de tecnología que permita la lectura remota de los consumos, mejorando el servicio entregado y sumando nuevas funcionalidades.

Al igual que otros países del mundo, el destino del registro de consumo de agua potable en Chile apunta a una actualización que brinde a las empresas sanitarias la posibilidad de obtener una lectura periódica de datos. Sin embargo, existen las interrogantes de **cómo realizar este recambio y por dónde partir**, ya que actualmente no existe ningún plan de actualización del servicio que permita la implementación de estas nuevas tecnologías.

3.2 Descripción del sistema de medición remoto de agua potable

3.2.1 Tipos de lectura remota

El objetivo de la lectura remota es reemplazar la lectura manual del medidor. De esta manera, el consumo indicado por el medidor puede ser registrado a distancia, de forma inalámbrica.

Este tipo de lectura se divide principalmente en dos grupos:

- AMR (Lectura Automatizada de Contadores): Son medidores dotados de un dispositivo de radiofrecuencia capaces de enviar la información a unos metros de distancia, por lo que se necesitan operadores que pasen a pie (*walk-by reading*) o conduciendo (*drive-by reading*) cerca de estos medidores para recolectar la información mediante un receptor de datos a final de mes, cuando se requiera facturar a los clientes. Luego de recolectados los datos, las empresas pueden monitorear y analizar el consumo de los clientes, resolver problemas y generar informes de facturación.
- AMI (Infraestructura de Medición Avanzada): Son medidores que, mediante antenas o repetidores de señal, pueden enviar la información hasta la misma central de servicios sanitarios. Este sistema transmite los datos del medidor directamente a la empresa a intervalos predeterminados, mediante concentradores instalados en diversos puntos de la ciudad, que son capaces de captar las señales de radiofrecuencia emitidas por los medidores del sector.

El presente trabajo está enfocado en este último tipo de medición ya que, al prescindir de operadores que recolecten la información en terreno, se pueden obtener los datos en intervalos menores de tiempo para realizar mejores estadísticas y obtener mayor funcionalidad, por ejemplo, en el control de pérdidas de distintos sectores de la red.

3.2.2 Funcionamiento del sistema

El proceso de medición está conformado por una serie de procesos claves: (i) la medición, (ii) la transferencia de datos, (iii) el procesamiento y análisis de datos y (iv) la retroalimentación de información, los cuales se describen en la Figura 1 y Tabla 3.

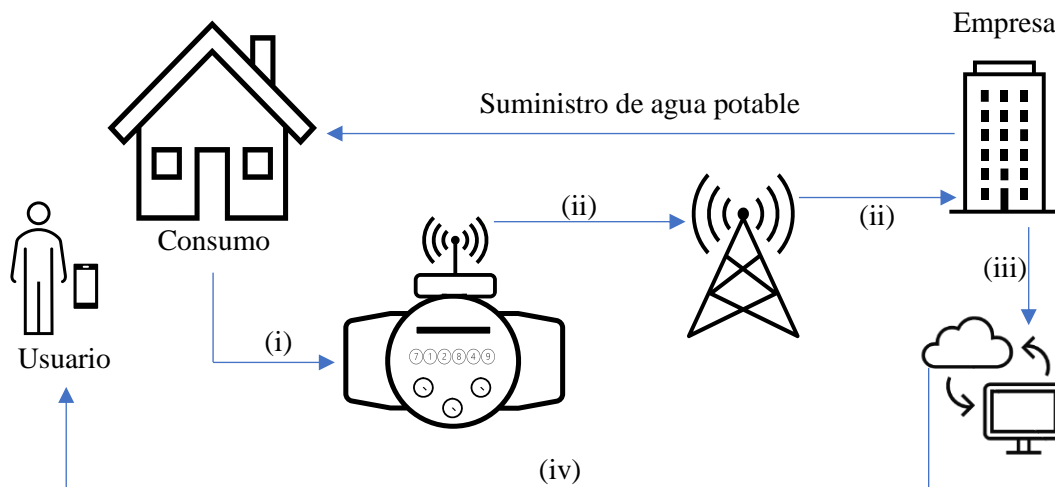


Figura 1: Esquema de funcionamiento del sistema remoto de lectura de datos.

Tabla 3: Procesos de un sistema de medición inteligente. Fuente: Boyle, T., Giurco, D., Mukheibir, P., Liu, A., Moy, C., White, S., & Stewart, R. (2013)

Parámetro	i) Medición	ii) Transferencia	iii) Procesamiento y análisis	iv) Retroalimentación
<i>Modo</i>	Se combina la tecnología del medidor con un registrador de datos para medir el consumo residencial. Generalmente se usan medidores de desplazamiento que generan una señal de pulso al registrador, el cual guarda información sobre el volumen de agua que pasa por el medidor.	Los datos se transfieren desde el registrador de datos a través de banda ancha, cable o inalámbricamente. Puede ser completamente remoto, llegando a la empresa mediante antenas o requerir una recolección de rango cercano (p. ej., el sistema “drive-by”).	Los datos llegan a la empresa de servicios públicos que almacena (p. ej., servidores de datos) y manipula (p. ej., softwares de análisis) los datos de uso de agua.	La empresa finalmente devuelve la información de consumo a los clientes para su interpretación a través de una interfaz web, aplicaciones para celulares, correo electrónico o incluso la boleta donde se factura el consumo mensual.
<i>Frecuencia</i>	Se puede especificar la frecuencia con la que el registrador capta la señal de la cantidad de agua que está pasando a la red doméstica. Algunos registradores pueden captar datos incluso cada 15 minutos.	La frecuencia con la que la empresa de servicios públicos envía o recopila datos (por ejemplo, diariamente, cada media hora, “en tiempo real”, etc.) variará según el tipo de medidor	Los datos pueden ser utilizados con la frecuencia que se requiera para analizar tendencias de consumo, fugas o actualizar las operaciones de los servicios públicos.	La frecuencia con la que se entregue la información depende de la interfaz, en las cuales se pueden encontrar actualizaciones trimestrales, mensuales, diarias o en intervalos de minutos.

3.2.3 Ventajas de la lectura remota

Reemplazar la lectura presencial de los datos al implementar nuevas tecnologías de lectura remota trae consigo una serie de ventajas, tales como:

- Reducción de fraude: La Telelectura puede informar de manera mucho más rápida de medidores invertidos o detenidos.
- Información al alcance del usuario: Junto con la lectura remota de datos, se pueden implementar plataformas WEB o aplicaciones que entreguen información al usuario a cerca de su propio consumo.
- Conciencia de consumo: La percepción del uso del agua en los hogares muchas veces no coinciden con el uso real del agua. Acercar al cliente a su consumo real puede hacer que las personas sean más conscientes del uso de este recurso.
- Detección temprana de pérdidas: El cliente podrá percatarse mucho antes si se están dando consumos no habituales y así detectar fugas al interior de la red de su casa.
- Conservación del agua: Con más conciencia de consumo y disminución de pérdidas se aporta a la conservación de este preciado recurso.
- Mayor eficiencia en procesos de medición: Con un sistema de lectura remota se pueden tener los datos de consumos en menos tiempo y con mayor frecuencia. Al tener más datos en menos tiempo, se mejoran las estadísticas sobre el consumo de agua potable real.
- Mejor manejo de reclamos: Con mejores estadísticas se puede respaldar el servicio entregado, detectando de manera mucho más fácil errores que se vean reflejados en las boletas de los usuarios.
- Mayor satisfacción del cliente: Al existir más certeza del consumo y mejor manejo de reclamos, se mejora la percepción que tiene el cliente de la empresa.
- Mejor dimensionamiento de redes: Al tener más datos, se puede conocer con certeza las horas punta y días de alta demanda, optimizando el diseño de redes según las necesidades de cada localidad.
- Innovación tecnológica: Se eleva el estándar de servicio entregado por las empresas al implementar mejores tecnologías que puedan servir tanto al usuario como al prestador de servicios sanitarios.

3.2.4 Equipos y Softwares utilizados

A continuación, se mencionan algunas marcas usadas en Chile y los respectivos productos que ofrecen al mercado.

- *Itron*

Itron Inc. es una compañía global de tecnología que provee sistemas remotos de medición y servicios para medir, monitorear y administrar la electricidad, gas natural y agua.

Esta marca tiene soluciones para el sistema remoto de medición de datos. Dentro de su catálogo de productos se encuentran medidores de agua volumétricos o de chorro pre equipados para la instalación de un sensor Cyble que permite la medición AMR y AMI mediante redes de IoT, Sigfox, entre otros.



Figura 2: Medidor modelo Aquadis con su sensor Cyble que permite la Telectura. Fuente: Catálogo de productos Itron Inc.

- Sensus

Por otra parte, Sensus, una marca de Xylem, ofrece productos y soluciones administrados de forma remota que brindan los datos correctos en el momento adecuado para empresas de servicios públicos, cooperativas y municipios propiedad de inversionistas. Sus dispositivos inteligentes y aplicaciones avanzadas se conectan con una variedad de tecnologías de comunicación para ayudar a los clientes a tomar decisiones oportunas que optimicen los sistemas de electricidad, gas y agua. Entre sus soluciones para la medición de agua se encuentran medidores volumétricos con registrador electrónico, equipados para la comunicación inalámbrica mediante la funcionalidad de transmisión de ondas de radio integrada para distintas frecuencias.



Figura 3: Medidor volumétrico 640C/640MC. Fuente: Catálogo de productos de Sensus.

También en su catálogo se pueden encontrar medidores electromagnéticos que ofrecen una comunicación bidireccional para la migración hacia la tecnología AMI. Estos medidores tienen una precisión de medición muy alta, pudiendo medir caudales tan bajos como 1 litro por hora. También permite la lectura con frecuencia de hasta 15 minutos, permitiendo una granularidad de datos muy alta. Además, este tipo de medidor detecta las fugas del sistema, permite la gestión y el diagnóstico a distancia y ayuda a ahorrar energía y optimizar el consumo.



Figura 4: Medidor electromagnético de flujo estático iPERL®. Fuente: Catálogo de productos Sensus.

- Conthidra

Otra empresa con presencia en Chile es CONTHIDRA, una empresa creada en 1999 para la distribución en España de contadores de agua de elevada tecnología y calidad, heredera de una larga tradición de fabricantes de contadores, que se remonta a 1915. Esta empresa ofrece soluciones de medición de todo tipo, desde contadores de chorro único, chorro múltiple y volumétricos que se encuentran pre equipados para lectura remota, la cual se logra mediante el módulo de radio MyWater, que permite la interacción bidireccional. Este módulo viene en modelos compatibles con los protocolos Sigfox, Lorawan y Narrowband.



Figura 5: (De izquierda a derecha), medidores de chorro único, chorro múltiple, volumétrico y dispositivo MyWater. Fuente: Catálogo de productos de CONTHIDRA.

También ofrece soluciones de medidores de chorro con contador electrónico o ultrasónicos que incorporan emisores de pulsos para el protocolo WM-Bus.



Figura 6: Medidor de chorro electrónico y medidor de ultrasonido. Fuente: Catálogo de productos de CONTHIDRA.

- *Nereus*

La empresa NEREUS, también presente en el mercado, ofrece una variada gama de medidores domiciliarios de tecnología ultrasónica, pudiendo estos utilizar distintos sistemas de transmisión, como LoraWan, NBloT o WM-Bus. En la actualidad, ofrece el medidor AXIOMA, para el rango de diámetros de 13 a 38 mm y el MADDALENA para diámetros superiores.



Figura 7: Contadores de agua digitales y ultrasónicos. Fuente: Catálogo de productos de NEREUS

- *Tavira*

La empresa comercializa en Chile el medidor View Shine, para diámetros de 13 y 19 mm. La tecnología de medición es ultrasónica y la transmisión considera LoraWan, NBloT o WM-Bus.



Figura 8: Medidor residencial de agua ultrasónico. Fuente: Catálogo de productos de Tavira.

3.3 Partes interesadas

Existen principalmente tres partes involucradas en la definición de estándares asociados a la prestación de servicios sanitarios y la fiscalización de su cumplimiento, tanto en lo relacionado a agua potable como al alcantarillado: el Estado, los usuarios y los operadores. La interacción que se produce entre sí se presenta en la Figura 9.

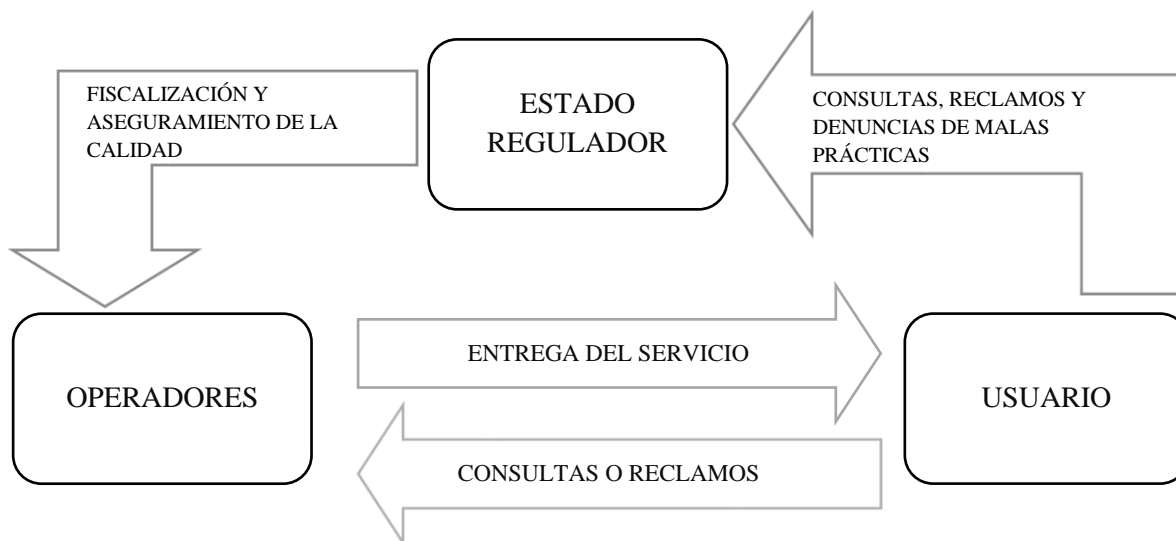


Figura 9: Interacciones de partes interesadas.

Por una parte, está el usuario al que se le entrega el servicio de agua potable en su domicilio. Este usuario es el consumidor del agua potable, al que se le factura mensualmente según su consumo a través del medidor. Los operadores son empresas de servicios sanitarios que deben cumplir con los estándares de calidad y continuidad de servicio definidos por el regulador, tales como Aguas Andinas, ESSBIO, ESSAL, ESVAL, Aguas del Valle, Aguas Araucanía, SMAPA, por nombrar algunas. Como cliente, el usuario puede o no estar satisfecho con los servicios entregados por los operadores, por lo que puede recurrir a los mismos operadores a solucionar su problema o a instituciones del estado, especialmente al regulador de estos servicios, la SISS, responsable de la fiscalización de las empresas operadoras de servicios de agua potable.

Estas partes tendrán distintos intereses, preocupaciones y motivaciones a la hora de migrar a un parque de lectura remota, las cuales se encuentran detalladas a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4: Descripción de las partes interesadas.

	Intereses	Preocupaciones	Motivaciones
<i>Usuario: Cliente</i>	Tener un servicio de calidad con cobros justos, que presente la menor cantidad de errores posibles para no tener que gastar tiempo solucionando discordancias entre el consumo real de su hogar y el facturado en la boleta.	Se puede desconfiar de las nuevas tecnologías, pensando que siempre se favorece a la empresa y no al consumidor. También puede tener preocupaciones de seguridad con sus datos, ya que tener datos de consumo en intervalos pequeños de tiempo puede reflejar comportamientos del hogar (por ej., saber cuándo la casa está sola) o tener aprensiones respecto al excesivo cobro del cambio del medidor.	Tener más funcionalidades a su alcance la hora de saber el consumo del hogar: controlar el consumo día a día mediante una aplicación a su alcance y ser alertado de fugas al interior de la red de la casa.
<i>Operadores: Empresas</i>	Ofrecer un servicio continuo y de calidad, comprometiéndose con el cuidado del medio ambiente y del desarrollo de las ciudades, a la vez de disminuir las pérdidas comerciales y del recurso agua.	Cómo se financia el proyecto de recambio de medidores para elevar el estándar del servicio sin perjudicar la economía de la empresa y cuáles son los estándares a considerar.	Obtener mejores estadísticas, realizar la lectura en menos tiempo y prescindir de la lectura presencial.
<i>Estado Regulador: SISS</i>	Velar por el acceso a agua potable en calidad, cantidad y continuidad, a precio justo y sostenible, buscando el uso eficiente, promoviendo la transparencia en el mercado, la comunicación con la ciudadanía y la acción proactiva de los prestadores de servicios sanitarios.	Pueden surgir contratiempos durante la implementación de estas tecnologías que se traduzcan en cortes del servicio y reclamos de usuarios. Otra preocupación es el financiamiento de estos proyectos y el cómo fiscalizar estos nuevos sistemas.	Elevar el estándar de servicio en la lectura de los datos y transparentar el consumo de los hogares ayudaría en mejorar el sistema de cobros al cliente, bajando así la tasa de reclamos por facturaciones indebidas de las empresas a los usuarios.

3.4 Normativa y estándares chilenos

El consumo de agua potable se cobra con base en los registros que se obtienen de los medidores de agua potable (lectura), según lo establece el Art. 113° del D.S. MOP N° 1199/04 (Reglamento de la Ley General de Servicios Sanitarios).

A su vez, el D.S. N° 1199 (2004) establece que el parque de medidores en uso deberá cumplir con el nivel de calidad que se establezca según el artículo 36° bis de la Ley General de Servicios Sanitarios (1988). Los medidores deben considerar el rango de exactitud previsto en el artículo 104°, conforme a un procedimiento basado en muestras estadísticamente representativas, cuya segmentación y periodicidad por localidad se establezca por la Superintendencia.

Según el Oficio N°6204 (2014) el sector sanitario cuenta con una nueva norma de medidores (NCh 3274/1), la cual fue declarada oficial el día 24.08.13. Dicha norma se basa en la Norma ISO 4064, que permite utilizar en el sector sanitario diferentes tipos de medidores, con calidades metrológicas distintas (la norma exige mayor exactitud) y, en algunos casos, esta exigencia es muy superior a la que exigía la antigua norma chilena NCh1730 ya derogada.

La norma NCh 3274/1 (2012) establece las especificaciones que deben cumplir los medidores de agua potable fría y caliente. Según ella, los medidores deben estar certificados debidamente por un organismo de certificación de productos acreditado. Las certificaciones aceptadas por la norma son:

- Modelo ISO CASCO 5 - Marca de Conformidad: Ensayo de tipo y evaluación del control de calidad en la planta seguido por una supervisión que considera la auditoria del control de calidad en la fábrica y ensayos de muestras tomadas en la fábrica y en el comercio
- Modelo ISO CASCO 7 - Ensayo por Lotes: Servicio que certifica mediante ensayos técnicos de laboratorio y el análisis de los resultados obtenidos, la conformidad de un lote específico de productos de acuerdo con lo establecido en las normas, reglamento y especificaciones técnicas pactadas entre el cliente y el proveedor.

Independiente de la certificación anterior que tengan los medidores, todos deben estar certificados previamente según:

- Modelo ISO CASCO 1 - Ensayo de Tipo: Método según el cual, una muestra del producto se somete a pruebas conforme a un método de ensayo prescrito, con el objeto de verificar el cumplimiento de un modelo con una especificación.

3.5 Experiencia internacional

A pesar de todos los beneficios que entrega la implementación de sistemas de medición remota de agua (o SWM por las siglas de Smart Water Metering), la difusión de estas tecnologías ha sido más bien lenta, principalmente por su mayor costo de implementación y por la resistencia al cambio o desconfianza de los usuarios. Esto debido a la ausencia de políticas públicas de aguas, la falta de apoyo por parte de los clientes y falta de análisis costo-beneficio (Msamadya, Joo, Lee, et al. 2022). Esto se ha traducido en una implementación lenta de sistemas remotos de lectura de consumo de agua. Sin embargo, existen países que han implementado estos sistemas en el último tiempo.

La mayoría de los países que han implementado estos sistemas a gran escala, han pasado primero por planes piloto en localidades a pequeña escala. Aunque existen proyectos de SWM con enfoque comercial o industrial, la gran parte de estos está en sectores residenciales. (Inman, Jeffrey, 2006).

A continuación, se presenta la experiencia al implementar sistemas con medición remota de datos en el sector del agua potable en tres países: Estados Unidos, Reino Unido y Australia.

3.5.1 Implementación de SWM en Estados Unidos

Actualmente, Estados Unidos está implementando sistemas SWM tanto en pueblos rurales como en grandes ciudades como Nueva York, Boston y Chicago, los cuales tienen más de 1 millón de arranques. A pesar de que existen muchas ciudades donde la implementación de estos sistemas no se encuentra masificada aún, la tendencia indica una aceptación de estas tecnologías por parte del gobierno y los servicios públicos de agua. (Msamadya, Joo, Lee, et al. 2022). En el año 2020, 4 ciudades lograron instalar medidores con lectura remota al 100% de sus clientes: City of Columbia, Kansas City, City of Thornton y Oakdale (Msamadya, Joo, Lee, et al. 2022). En el caso de Kansas City, cuando se tenían medidores de lectura presencial, se debían realizar viajes de largas distancias para registrar manualmente a los 167.000 clientes dentro del área geográfica de 842 km². Con la implementación de SWM se logró reducir los costos de viajes y mano de obra, logrando así tarifas más bajas para sus clientes, al disminuir los costos de operación asociados a la lectura (Thiemann, Haas, Schlenger, 2011).

3.5.2 Implementación de SWM en Reino Unido

La incorporación de sistemas SWM ha sido más lenta en Europa, debido a que las regulaciones establecidas por la Unión Europea exigen la implementación de sistemas de medición remota solamente en sistemas de electricidad y gas (Directive 2012/27/EU) y no se exige esta tecnología para el agua potable. En Inglaterra, la Ley de la Industria del Agua de 1991 no exige la incorporación de estos sistemas, por lo que los clientes no están obligados a instalar medidores con tecnología SWM. De todas maneras, el gobierno del Reino Unido permite la instalación opcional de estos medidores a una serie de compañías de agua (Hutton, 2019), sin embargo, no se considera la SWM como una tecnología crítica u obligatoria.

3.5.3 Implementación de SWM en Australia

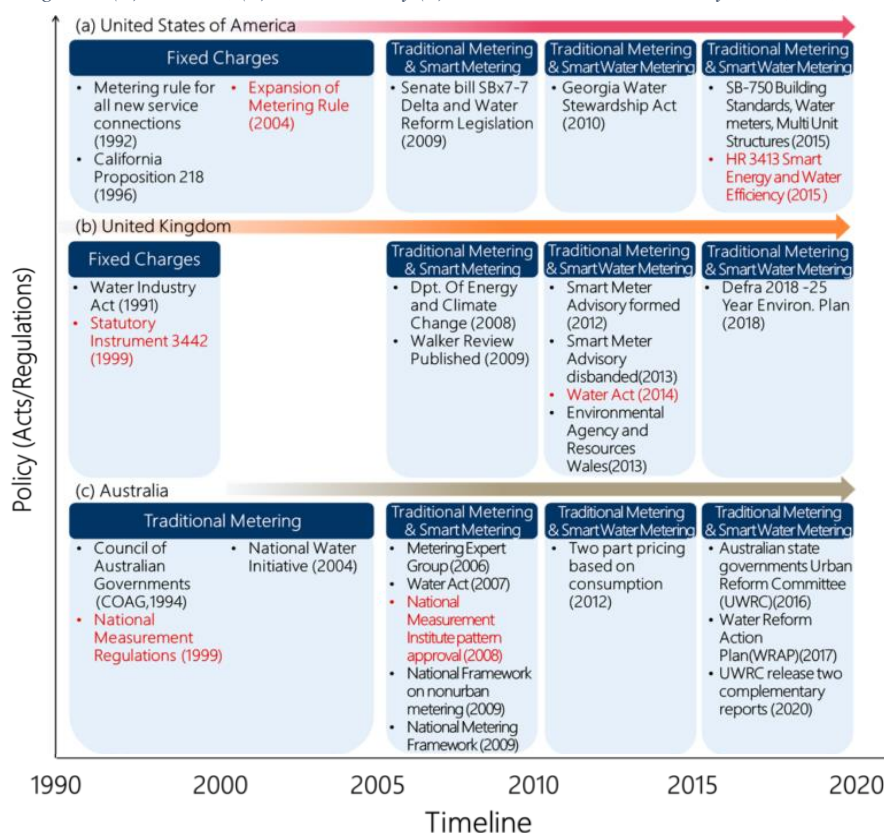
Australia ha tenido un gran avance en proyectos de instalación de sistemas SWM. Entre ellos destaca el proyecto “Kalgoorlie SWM”, en el cual se instalaron 13.800 unidades de medidores equipados con Telelectura en la ciudad de Kalgoorlie. Este proyecto logró reducir costos operativos, ahorrando más de USD 3 millones por año y reduciendo los consumos totales de agua en un 13% al tener un mejor sistema de detección de fugas (Boyle, Giurco, Mukhebir, et al, 2013)

En el área residencial Sur, la compañía de agua TasWater llevó a cabo un proyecto SWM de USD 24 millones, con 46.000 unidades instaladas. A partir de los resultados de este proyecto realizado en 2014, se logró una reducción del 37% en los costos de suministro de agua y una reducción del 10% en el consumo total de agua (Beal, Flynn, 2014). Además, las empresas de servicios públicos de agua realizaron una fuerte campaña en los medios para garantizar tanto la aceptación como el conocimiento de las implementaciones de SWM para los residentes. Esto resultó en una reducción de las quejas de los clientes en comparación al sistema de facturación anterior, que usaba medidores de agua tradicionales. (Monks, Stewart, Sahin, Keller, 2019)

Los beneficios que ofrece la incorporación de sistemas de lectura remota de agua potable pueden ser anulados por los costos de instalación de estos sistemas, provocando que las empresas de agua abandonen los planes piloto para la incorporación de SWM y desvíen su atención a otros temas. En el caso de Australia, se han incluido subvenciones del gobierno, lo cual ha fomentado la implementación del SWM.

A continuación, en la Tabla 5, se presenta evolución de las políticas implementadas por los 3 países anteriores, en cuanto a sistemas de medición de agua potable y regulación de sus tarifas.

Tabla 5: Políticas de agua en (a) EE. UU., (b) Reino Unido y (c) Australia. Fuente: Msamadya, Joo, Lee, et al. (2022).



4 Etapas de la Investigación

El plan de trabajo para lograr los objetivos mencionados se ha dividido en 3 etapas, resumidas en la Tabla 6: (i) levantamiento de antecedentes, (ii) evaluación multicriterio y (iii) análisis de resultados.

La primera etapa corresponde a la investigación de antecedentes con el fin de entender cuáles son los medidores actualmente usados en Chile y cómo funciona la medición remota. Para ello, se investigan antecedentes de la lectura que se da actualmente y la remota, se definen de las partes interesadas, se describen los softwares y equipos utilizados para la medición remota, se nombra la normativa aplicable tanto nacional como internacional y se investiga la experiencia en países extranjeros que estén implementando esta tecnología. Esta primera etapa se llevará a cabo mediante gestores bibliográficos.

La segunda etapa consiste en la identificación de los criterios que competen al recambio del parque de medidores, la investigación de metodologías similares basadas en la jerarquización que puedan servir de guía para este trabajo y finalmente la elaboración de la metodología misma. Luego, será aplicada la metodología a un set de localidades, con el fin de calibrar y ver la sensibilidad del método. Todo esto mediante entrevistas a expertos en la materia, la recopilación de información de la experiencia del grupo Aguas Nuevas y gestores bibliográficos.

Finalmente, en la tercera etapa se espera concluir y entregar recomendaciones a las autoridades para llevar a cabo los programas de actualización, analizando la información recopilada en este informe y mediante entrevistas a expertos.

Tabla 6: Etapas de trabajo y relación de actividades con metodologías propuestas.

Etapa de Trabajo	Actividades	Metodología
<i>Etapa 1</i>	Investigación de antecedentes lectura actual. Investigación de antecedentes lectura remota. Experiencia Chilena e Internacional.	Gestores bibliográficos.
<i>Etapa 2</i>	Identificación de criterios. Investigación de metodologías de análisis multicriterio. Elaboración y ajuste de la metodología. Aplicación de metodología a un caso de estudio.	Gestores bibliográficos. Entrevistas a expertos en la materia. Análisis Multicriterio mediante AHP. Recopilación de experiencias del grupo Aguas Nuevas.
<i>Etapa 3</i>	Análisis y redacción de conclusiones Entrevistas a expertos para conclusiones	Análisis de la información recopilada. Entrevistas a expertos.

En síntesis, este trabajo tiene como finalidad reconocer aspectos técnicos, operacionales, económicos y sociales que puedan influir a la hora de evaluar el cambio del parque de medidores por medidores con tecnología de lectura remota en determinadas localidades. Posteriormente, proponer una metodología que permita ponderar estas distintas variables, para determinar las localidades o zonas donde resulta más conveniente realizar la transición y priorizar su ejecución, para mejorar la eficiencia global de este proceso.

5 Metodología de Evaluación

La metodología que se usa para determinar las prioridades de recambio de los medidores se basa en un análisis multicriterio donde se evalúa y pondera la conveniencia de la renovación desde distintos puntos de vista.

En el presente capítulo se presenta los fundamentos de esta revisión y los criterios analizados.

5.1 Análisis multicriterio

Existen distintas empresas prestadoras de servicios sanitarios que abastecen las localidades urbanas en Chile. Las empresas que quieran sumarse a un programa de recambio del parque de medidores deben tomar la decisión de elegir, entre el universo de localidades que atienden, por cuáles comenzar el recambio y en qué sectores priorizar la renovación. Esta decisión debe ser tomada en base a una serie de criterios y consideraciones que mejoren la eficiencia del proceso.

De esta manera, la metodología utilizada debe intentar responder a las siguientes interrogantes: **¿qué beneficios me trae a mí y mis clientes?; ¿cómo decido en qué localidades empezar el cambio?; ¿qué aspectos debo tener en cuenta? y ¿cómo mejorar la eficiencia del proceso?**

Para responder a estas preguntas, este trabajo propone la aplicación del método elaborado por el profesor Thomas L. Saaty, denominado Analytic Hierarchy Process (AHP). Este es un proceso multiatributo que selecciona alternativas en función de una serie de criterios o variables. Estos criterios deben estar bien definidos, ser relevantes y mutuamente excluyentes (Saaty, 1982).

Se ha elegido este método por ser un procedimiento sencillo de implementar y fácil de modificar según la jerarquía de los criterios o los ajustes que las empresas sanitarias puedan considerar relevantes para su toma de decisiones de acuerdo a sus prioridades. Además, el método desmenuza el problema de decisión entre varias alternativas y reduce el problema a una comparación entre pares. Este ejercicio se basa en la observación empírica por parte de la psicología que dice que, para la comprensión humana, es más fácil la comparación entre pares que al evaluar varias alternativas en conjunto.

5.2 Explicación del método AHP

El primer paso para aplicar el método es identificar el problema que se va a resolver y establecer el objetivo principal del proceso de toma de decisiones. El objetivo debe ser claro y estar definido de manera específica para poder identificar los criterios y alternativas relevantes.

Una vez establecido el objetivo, se procede a construir la jerarquía de criterios y alternativas. El objetivo se sitúa en el nivel superior de la jerarquía y los criterios y alternativas se desglosan en niveles inferiores de la jerarquía. Los criterios se utilizan para evaluar las alternativas y se deben definir de manera clara para poder ser evaluados de manera objetiva.

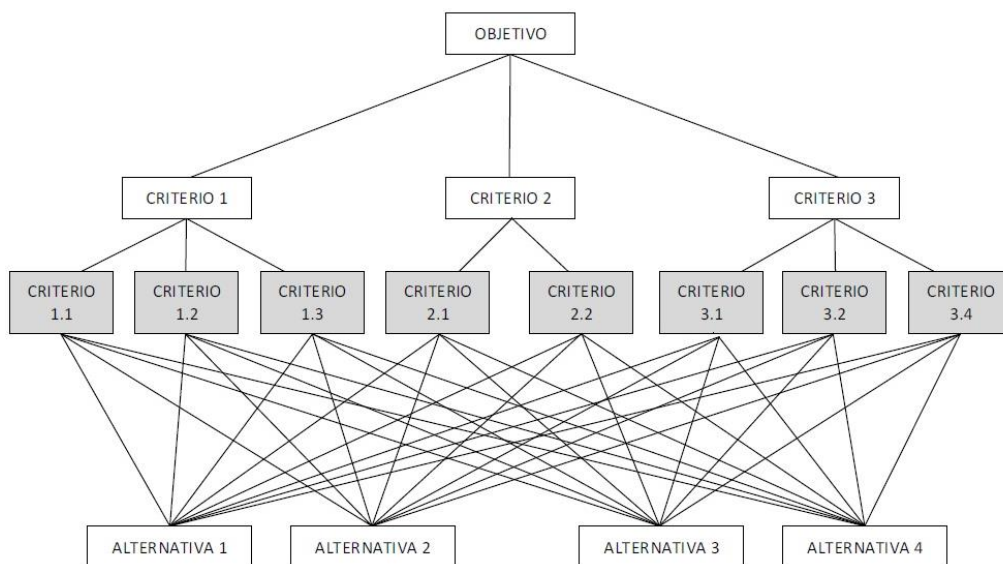


Figura 10: Ejemplo de estructura jerárquica AHP. Fuente: Thomas Saaty (1982).

Con los criterios bien definidos, se procede a resolver el problema de AHP, construyendo una matriz de comparación de criterios o alternativas en la que cada elemento (i, j) representa la relación relativa de la importancia o preferencia del criterio i con respecto al criterio j o de la alternativa i con respecto a la alternativa j , como se puede ver en la Tabla 7. Notar que la diagonal de la matriz es 1 para mantener la propiedad de homogeneidad, ya que se está comparando la importancia de un criterio consigo mismo.

Tabla 7: Matriz de comparación tipo. Fuente: Thomas Saaty (1982).

	Criterio 1	Criterio 2	...	Criterio N
Criterio 1	1	Importancia		Importancia
Criterio 2	1/ Importancia	1		Importancia
⋮			...	
Criterio N	1/ Importancia	1/ Importancia		1

Tabla 8: Escala fundamental para comparación de pares. Fuente: Thomas Saaty (1982).

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen en igual medida al objetivo
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra
7	Muy Fuerte o Demostrada	Una actividad es mucho más favorecedora que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Extrema	Las pruebas que favorecen a una actividad más que la otra son del nivel de aceptación más alto posible
2, 4, 6, 8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transición, puesto que no hay una palabra apropiada para describirlo

La matriz de comparación se somete a un proceso de normalización y se calcula el vector propio correspondiente al valor propio más grande de la matriz normalizada. Este vector propio representa los pesos relativos de cada criterio o alternativa en función de su importancia o preferencia.

Una vez que todos los criterios fueron comparados entre ellos, se comparan de a pares las alternativas propuestas bajo cada uno de los criterios establecidos, según la escala de la Tabla 8, construyendo tantas matrices de comparación como criterios se tengan. Con ello, se establece la preferencia de una alternativa por sobre la otra según cada criterio que se tenga. Para cada matriz se calculan los vectores propios y se arma una matriz de vectores propios de todas las alternativas.

En el método AHP, el vector propio obtenido se interpreta como una medida de la importancia relativa de los criterios o alternativas, y se utiliza para tomar decisiones informadas. La interpretación del vector propio es similar a la de los pesos de los factores en el análisis de componentes principales, donde el vector propio representa la combinación lineal de los criterios o alternativas que mejor explica la variabilidad en los datos.

Finalmente, se multiplica la matriz de vectores propios de las alternativas por el vector propio de los criterios. La mejor solución en función de los criterios y su relativa importancia será la que tenga mayor valor dentro del vector final, y se podrá visualizar el orden de decisión de las alternativas según su ponderación, ordenando las alternativas de manera jerárquica.

5.2.1 Consistencia de las matrices

La consistencia se refiere a la estabilidad de las comparaciones realizadas por el tomador de decisiones. Si las comparaciones realizadas no son consistentes, es posible que se obtengan resultados poco fiables y útiles en el proceso de toma de decisiones. Se verifica el porcentaje de consistencia de cada matriz, calculándolo según las siguientes fórmulas:

$$CI = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - n}{n - 1}$$

Ecuación 1: Cálculo del índice de consistencia. Fuente: Thomas Saaty (1982).

Donde:

CI: Índice de consistencia (Consistency Index)

λ máx: Autovalor máximo de la matriz

n: Dimensión de la matriz de decisión

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Ecuación 2: Cálculo de la proporción de consistencia. Fuente: Thomas Saaty (1982).

Donde:

CR: Proporción de consistencia (Consistency Ratio)

RI: Índice aleatorio

El índice aleatorio depende del tamaño n de la matriz. Los valores de éste se mencionan a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9: Valores de índice aleatorio. Fuente: Thomas Saaty (1982).

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Con todo ello, se verifica que la proporción de consistencia no sobrepase los valores máximos permitidos según la Tabla 10. Estos valores dependen del tamaño n de la matriz. De ser sobrepasados, se deben revisar las ponderaciones de los criterios y alternativas.

Tabla 10: Ratio de consistencia máximo según el tamaño de la matriz. Fuente: Thomas Saaty (1982).

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

5.3 Criterios a Considerar

Para la aplicación de la metodología AHP, se estudian los aspectos técnicos, operacionales, sociales y económicos que competen a la hora de evaluar y realizar un recambio de parque de medidores por medidores con tecnología remota. Estos son los criterios sobre los cuales se basa la metodología para realizar el ranking de localidades. Dichos aspectos pretenden ser una guía para las empresas prestadoras de servicios sanitarios que requieran estudiar la implementación de tecnología de lectura remota en alguna de las localidades que abastece de agua potable.

5.3.1 Aspectos técnicos

Geografía de la localidad

Para la lectura remota es necesario disponer una antena que capte las señales que emiten los medidores en su rango. Si se prorratea el costo de suministro e instalación de una antena entre el número de casas dentro de su radio de lectura, se puede considerar más conveniente la implementación de este sistema en localidades con más densidad de casas. Así mismo sucede con los edificios habitacionales que concentran una gran cantidad de medidores en un pequeño espacio, lo cual implica el suministro de solo una antena para abarcar una gran cantidad de señales.

Edad de los medidores

Resulta natural pensar que, de tener que cambiar medidores por medidores que cuenten con tecnología de lectura remota, se prefiera empezar por aquellos medidores que, debido a su edad, ya necesiten el recambio, evitando empezar por aquellos medidores que han sido instalados recientemente y aún no cumplen con su vida útil. Según el informe de la SISS (2021) y como se ve en la Tabla 11, existe un 30% del parque de medidores que aún no superan los 5 años de antigüedad, por lo que se debería evitar comenzar por ellos.

Tabla 11: Edad de los medidores actuales a nivel nacional. Fuente: Informe de Gestión SISS 2021.

	Total Medidores	De 0 a 5 años		De 6 a 10 años		Más de 10 años	
		N°	%	N°	%	N°	%
Total País	5.582.381	1.645.659	30%	1.438.780	26%	2.497.942	45%

5.3.2 Aspectos operacionales

Efectividad en la lectura

Según la Ley General de Servicios Sanitarios (1988), cuando por cualquier causa no se pudiese establecer el verdadero consumo, se formulará la cuenta aplicando el promedio de los últimos seis meses de correcto funcionamiento y si faltasen algunos de los meses, se aplicará el promedio de los meses disponibles y deberá ser ajustada en la próxima lectura efectiva que se realice.

Estas lecturas que no son efectivas y tienen que ser estimadas en base a promedios que alteran las estadísticas de consumo (D.S. N° 1199 de 2004), sin embargo, este es un indicador que se controla por las empresas que prestan servicios sanitarios y, a largo plazo, no representa una mayor pérdida comercial.

5.3.3 Aspectos sociales

Localidades de alto riesgo

La Región de la Araucanía ha sido sede de conflicto armado durante este último tiempo. El observatorio de Conflictos de COES (Centro de Estudios de Conflicto y Cohesión Social) muestran que las tácticas violentas han ido al alza desde 2019, evidenciando un aumento de conflictividad en el tiempo (Disi, Quiroz, 2022). Los incidentes violentos que se dan en la zona ponen en peligro al operador que va a registrar la lectura mes a mes, impidiendo que se pueda acceder a las casas de las zonas en conflicto para resguardar tanto al operador como a los vehículos en que se transportan.

Por otra parte, en este ítem también pueden ser incluidas las localidades donde se registre una elevada tasa de delitos de mayor connotación social que puedan afectar a los operadores que registran las lecturas. Estos delitos pueden incluir robo de vehículo motorizado o robo con violencia o intimidación.

5.3.4 Aspectos económicos

Consumo promedio de la localidad

La experiencia internacional señala que la aplicación de Telelectura ha contribuido al ahorro en costos operativos. Al instalar medidores con más precisión en localidades donde el consumo de agua potable sea más alto se pueden registrar mejor los datos de consumos y disminuir pérdidas comerciales, ayudando a recuperar más rápido la inversión de instalar tecnología de Telelectura.

Costo de la lectura presencial

En localidades relativamente pequeñas que se encuentren aisladas de grandes ciudades en las que se encuentran las empresas prestadoras de servicio, el costo operacional de que una persona se movilice a atender la lectura de todos los meses es mayor, por lo que instalar lectura remota en ciudades pequeñas puede ayudar a reducir los costos en los contratos de lectura.

6 Aplicación de la Metodología a un Caso de Estudio

6.1 Información a utilizar

Se seleccionó un set de 6 comunas, a las cuales se les aplicará la metodología. La información de éstas es proporcionada por las empresas operadoras del grupo Aguas Nuevas y por la Superintendencia de Servicios Sanitarios mediante datos públicos. Esta información consiste en datos de clientes y consumo de las comunas, edad del parque de medidores actuales, costos de lectura y efectividad en las lecturas registradas en el año 2022.

6.2 Ajuste de escala de comparaciones

Como se puede apreciar en la Tabla 8, la tabla de comparación entre pares propuesta por el método AHP es una tabla que explica, de manera muy general, la ponderación que se le debe entregar a cada alternativa. Es por lo anterior que se desea ajustar esta escala de comparaciones y darle una explicación más específica según el criterio que se esté evaluando. Cabe señalar que la calibración de estas escalas es un proceso iterativo según el set de localidades entregado, con el fin de ajustar los rangos de valores para lograr que las matrices sean consistentes. A continuación, se presentan las escalas de comparación en la Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 12: Tabla de comparación entre pares ajustado al criterio "GEOGRAFÍA DE LA LOCALIDAD".

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades tienen la misma cantidad de clientes por m ²
3	Mayor	La localidad tiene al menos un 15% más de densidad.
5	Bastante Mayor	La localidad tiene al menos un 30% más de densidad.
7	Mucho Mayor	La localidad tiene al menos un 45% más de densidad.
9	Extremadamente Mayor	La localidad tiene al menos un 60% más de densidad.
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

Tabla 13: Tabla de comparación entre pares ajustado al criterio "EDAD DE LOS MEDIDORES".

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades presentan el mismo % de medidores que superan los 10 años
3	Mayor	La localidad tiene al menos un 10% más de medidores que superan los 10 años
5	Bastante Mayor	La localidad tiene al menos un 25% más de medidores que superan los 10 años
7	Mucho Mayor	La localidad tiene al menos un 50% más de medidores que superan los 10 años
9	Extremadamente Mayor	La localidad tiene al menos un 70% más de medidores que superan los 10 años
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

Tabla 14: Tabla de comparación entre pares ajustado al criterio "EFECTIVIDAD DE LA LECTURA".

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades cuentan con la misma efectividad en la lectura
3	Mayor	La localidad presenta al menos 1 punto porcentual mayor en su efectividad de lectura
5	Bastante Mayor	La localidad presenta al menos 3 puntos porcentuales mayores en su efectividad de lectura
7	Mucho Mayor	La localidad presenta al menos 5 puntos porcentuales mayores en su efectividad de lectura
9	Extremadamente Mayor	La localidad presenta al menos 7 puntos porcentuales mayores en su efectividad de lectura
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

Tabla 15: Tabla de comparación entre pares ajustado al criterio "LOCALIDADES DE ALTO RIESGO".

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades se encuentran en la misma zona
3	Mayor	La localidad se encuentra en una zona que ha presentado conflictos menores en comparación a la otra localidad
5	Bastante Mayor	La localidad se encuentra en una zona que ha presentado conflictos de mediana importancia en comparación a la otra localidad
7	Mucho Mayor	La localidad se encuentra en una zona que ha presentado conflictos de importancia en comparación a la otra localidad
9	Extremadamente Mayor	La localidad se encuentra en una zona que ha presentado conflictos de importancia extrema en comparación a la otra localidad
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

Tabla 16: Tabla de comparación entre pares ajustado al criterio "CONSUMO PROMEDIO DE LA LOCALIDAD".

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades presentan el mismo consumo promedio por cliente
3	Mayor	La localidad tiene al menos un 10% más de consumo promedio por cliente
5	Bastante Mayor	La localidad tiene al menos un 30% más de consumo promedio por cliente
7	Mucho Mayor	La localidad tiene al menos un 50% más de consumo promedio por cliente
9	Extremadamente Mayor	La localidad tiene al menos un 70% más de consumo promedio por cliente
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

Tabla 17: Tabla de comparación entre pares ajustado al criterio "COSTO DE LA LECTURA PRESENCIAL".

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades tienen el mismo costo en la lectura presencial
3	Mayor	El costo de la lectura presencial es un 10% mayor en esta localidad
5	Bastante Mayor	El costo de la lectura presencial es un 20% mayor en esta localidad
7	Mucho Mayor	El costo de la lectura presencial es un 30% mayor en esta localidad
9	Extremadamente Mayor	El costo de la lectura presencial es un 40% mayor en esta localidad
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

6.3 Descripción de las localidades del caso de estudio

Las 6 comunas seleccionadas a lo largo de Chile presentan variedad de datos de consumidores, geografías y realidades distintas que podrían complicar la elección de empezar el recambio si no se cuenta con una metodología que apoye esta tarea.

La información con la que se cuenta para las localidades se detalla en la Tabla 18.

Tabla 18: Información de las localidades. Fuente: Informe de Gestión SISS (2021)¹ e Información entregada por Aguas Nuevas².

Comuna	Empresa ¹	Área geográfica ¹ [km ²]	Clientes ²	Medidores + 10 años ²	Efectividad promedio 2022 ²	Consumo por cliente ² [m ³ /cl/mes]	Costo Lectura ² [\$/cl/mes]
Arica	Aguas Altiplano	4.799	67.158	13,8%	93,70%	21,42	145,51
Alto Hospicio	Aguas Altiplano	593	32.391	14,1%	93,80%	20,55	145,51
Copiapó	Nueva Atacama	16.681	54.906	36,2%	90,99%	19,71	213,48
Lonquimay	Aguas Araucanía	3.914	1.774	21,7%	93,85%	17,86	134,83
Pucón	Aguas Araucanía	1.249	10.646	37,1%	95,71%	24,37	134,83
Porvenir	Aguas Magallanes	6.983	2.180	8,9%	97,50%	36,18	200,00

6.3.1 Esquema de jerarquía

Se presenta el esquema respectivo a la metodología AHP. Las localidades vendrían siendo las distintas alternativas entre las que se puede elegir y se encuentran en la base de este esquema. Estas alternativas serán analizadas bajo los criterios propuestos, con el fin de lograr el objetivo, ubicado en la cima del esquema.

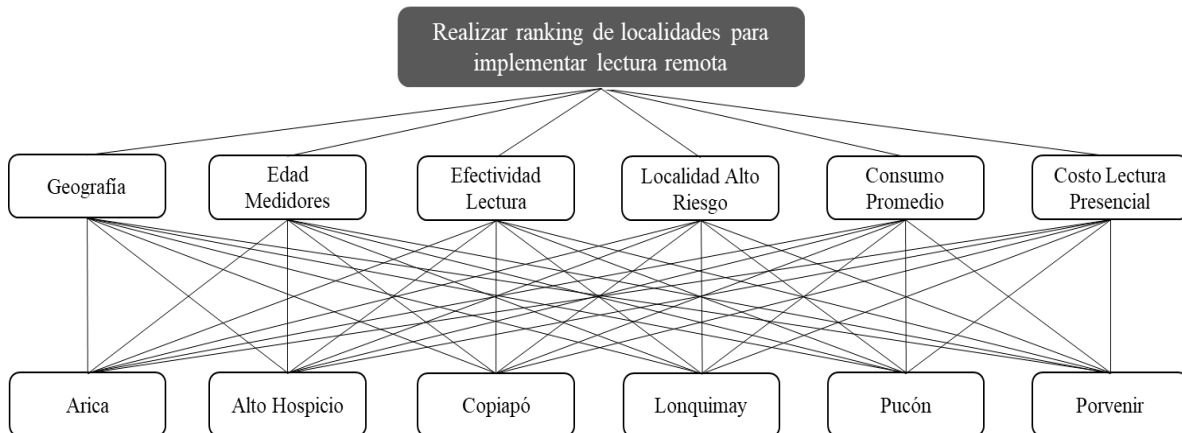


Figura 11: Esquema de la metodología AHP aplicada al caso de estudio.

6.3.2 Matriz de criterios

Se construye la matriz de ponderación de los criterios con el fin de determinar aquellos que son más importantes y los que no lo son tanto a la hora de evaluar la localidad para comenzar el recambio.

Cabe destacar que los criterios considerados más importantes son los relativos a la geografía de la localidad, al involucrar la instalación de antenas repetidoras, y la edad de los medidores, para evitar la pérdida de recursos que representa la renovación de medidores que no han cumplido su vida útil. El criterio de consumo promedio se considera de importancia media debido a que el fin principal del recambio del parque es una actualización a nuevas tecnologías, y no la recuperación de inversiones a corto plazo. En cuanto a las localidades de alto riesgo, se le considera de importancia baja por ser muy pocas las localidades que representen un problema de extrema importancia a nivel país.

El detalle de la construcción de esta matriz se puede ver de manera gráfica en el Anexo 1. En él, se realiza la comparación por pares de criterios, asignándole su respectiva importancia y cuidando de ser consistente con las ponderaciones para estar dentro de los valores de ratio de consistencia permitidos. Dichas importancias se llevan a la matriz presentada a continuación en la Tabla 19, la cual es posteriormente normalizada para luego calcular el vector propio de la matriz, que representa los pesos relativos de cada criterio en función de su importancia asignada. Así, este método permite asignar importancias al ir comparando de a pares para que, mediante operaciones matriciales, se puedan calcular los pesos globales de cada criterio.

Tabla 19: Matriz de ponderación de peso de los criterios.

	Geografía	Edad Medidores	Efectividad Lectura	Localidades de Riesgo	Consumo Promedio	Costo Lectura	Vector Propio
Geografía	1	1/2	5	7	2	2	0,2445
Edad Medidores	2	1	7	9	2	5	0,3794
Efectividad Lectura	1/5	1/7	1	1	1/5	1/2	0,0433
Localidades de Riesgo	1/7	1/9	1	1	1/5	1/2	0,0391
Consumo Promedio	1/2	1/2	5	5	1	5	0,2153
Costo Lectura	1/2	1/5	2	2	1/5	1	0,0783
CR	3%	Cumple					1,0000

6.3.3 Aplicación criterio “Geografía de la localidad”

Según la cantidad de clientes dentro del área de la localidad, se puede calcular la densidad de clientes por kilómetro cuadrado. Con ello, se pondera el porcentaje de densidad que representa cada localidad en función del total de densidades de las comunas que se están estudiando.

Tabla 20: Datos utilizados para aplicación de criterio geográfico. Fuente: Datos entregados por Aguas Nuevas.

	Clientes	Área [km2]	Densidad [cliente/km2]	%
Arica	67.158	4.799	13,99	17,2%
Alto Hospicio	32.391	593	54,60	67,3%
Copiapó	54.906	16.681	3,29	4,1%
Lonquimay	1.774	3.914	0,45	0,6%
Pucón	10.646	1.249	8,53	10,5%
Porvenir	2.180	6.983	0,31	0,4%
		Total	81,18	

Como se puede apreciar en la Tabla 20, Alto Hospicio presenta una alta densidad de clientes distribuidos en su área respecto al resto de las comunas analizadas. Esto quiere decir que, de instalar lectura remota, se necesitarían menos antenas que recolecten los datos, en comparación a Porvenir, que tiene sus clientes más dispersos dentro de su área.

6.3.4 Aplicación criterio “Edad de los medidores”

La Tabla 21 contiene los datos del porcentaje de medidores que superan los 10 años en cada comuna.

Tabla 21: Fracción de medidores que superan los 10 años por comuna. Fuente: Datos entregados por Aguas Nuevas.

	Empresa	N° Total de Medidores	Medidores que superan los 10 años	
Arica	Aguas Altiplano	66.591	9.173	13,8%
Alto Hospicio	Aguas Altiplano	32.392	4.560	14,1%
Copiapó	Nueva Atacama	55.018	19.934	36,2%
Lonquimay	Aguas Araucanía	1.757	381	21,7%
Pucón	Aguas Araucanía	10.459	3.880	37,1%
Porvenir	Aguas Magallanes	2.175	194	8,9%

Entre las alternativas, Copiapó presenta una gran cantidad de medidores que ya superaron su vida útil de 10 años, por lo que se debería preferir bajo este criterio para el recambio del parque de medidores.

6.3.5 Aplicación criterio “Efectividad de la lectura”

La efectividad en la lectura de agua potable es un indicador que puede variar según los meses del año. En el caso de Lonquimay, como se aprecia en el Gráfico 1, se ha observado que la menor efectividad se presenta en los meses de invierno. Esto se debe a que en esta época suele nevar, lo que a su vez causa cortes en el paso, afectando la precisión de las mediciones y, por ende, la efectividad en la lectura.

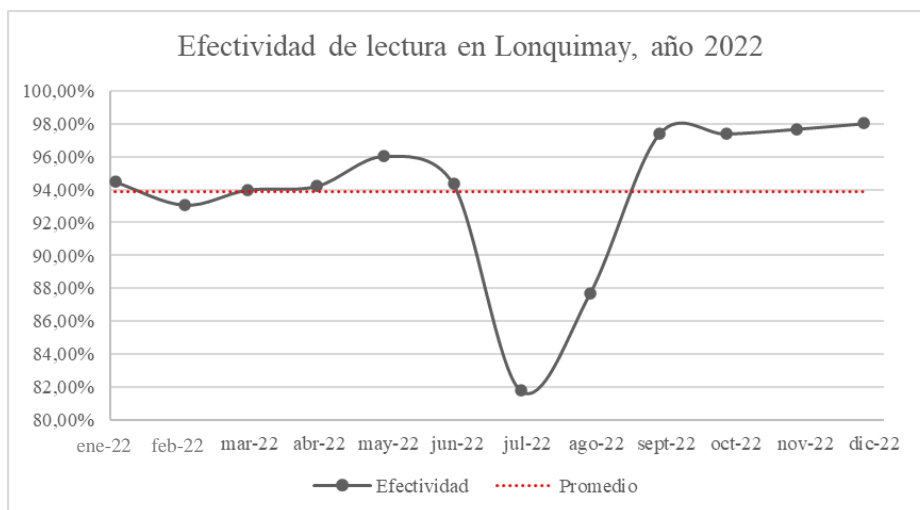


Gráfico 1: Efectividad de lectura presencial en Lonquimay, para el año 2022. Fuente: Datos entregados por Aguas Nuevas.

Sin embargo, según los datos entregados por Aguas Nuevas, las efectividades promedio del año son bastante altas, a pesar de los problemas que se pueden presentar durante el año, siendo todas mayores al 90%, por lo que se ajusta la escala de comparaciones para que sea sensible a estas sutiles diferencias, como lo mostrado en la Tabla 14.

6.3.6 Aplicación criterio “Localidades de alto riesgo”

De las localidades en estudio, Lonquimay se encuentra próximo a zonas de conflictos Mapuche (Diario El Mostrador, 2021), por lo que, en comparación al resto, es considerada una zona con problemas de seguridad.

Adicionalmente, se puede observar en la Tabla 22 que Alto Hospicio presenta una tasa de delitos de mayor connotación muy superior si se compara con el resto de las localidades, e incluso llega a ser mayor que la tasa promedio a nivel país. Por ello, la comuna es clasificada con problemas de seguridad menores, debido a que es mayor la probabilidad de que el operador enfrente problemas, como el robo del vehículo en el que se transporta o sus pertenencias.

Tabla 22: Reporte estadístico de casos policiales de delitos de mayor connotación. Fuente: Centro de Estudios y Análisis del Delito (CEAD).

Localidad	Tasa de delitos de mayor connotación cada 100.000 habitantes	
	2021	2022
Arica	561,81	784,20
Alto Hospicio	927,02	988,61
Copiapó	453,67	626,47
Pucón	176,36	217,89
Lonquimay	36,1	45,1
Porvenir	26,95	13,33
Total País	546,10	603,17

Tabla 23: Conflictos de seguridad por comuna.

Conflictos	
Arica	No ha presentado problemas de seguridad significativos
Alto Hospicio	Presenta problemas de seguridad menores
Copiapó	No ha presentado problemas de seguridad significativos
Lonquimay	Presenta medianos problemas de seguridad por conflictos armados
Pucón	No ha presentado problemas de seguridad significativos
Porvenir	No ha presentado problemas de seguridad significativos

6.3.7 Aplicación criterio “Consumo promedio de la localidad”

Las comunas estudiadas presentan datos similares de consumo, siendo Porvenir la localidad con mayor consumo, como se presenta en la Tabla 24. Arica y Alto Hospicio le siguen de cerca, con un 17,7% del total del consumo de las localidades elegidas.

Tabla 24: Consumo mensual promedio por cliente. Fuente: Datos entregados por Aguas Nuevas.

	Empresa	Consumo [m3/cliente/mes]	Clientes	Consumo localidad [m3/mes]	%
Arica	Aguas Altiplano	21,42	67.158	1.181.980,80	40,4%
Alto Hospicio	Aguas Altiplano	20,55	32.391	570.081,60	18,7%
Copiapó	Nueva Atacama	19,71	54.906	883.986,60	30,4%
Lonquimay	Aguas Araucanía	17,86	1.774	31.683,64	0,9%
Pucón	Aguas Araucanía	24,37	10.646	160.754,60	7,3%
Porvenir	Aguas Magallanes	36,18	2.180	39.676,00	2,2%
			Total	3.556.355,73	

6.3.8 Aplicación criterio “Costo de la lectura presencial”

En la Tabla 25 se puede apreciar que la localidad más cara de leer es Porvenir, con unos \$200 de costo por cliente. Sin embargo, al tener una baja cantidad de clientes, el costo total de la lectura presencial es muy bajo en comparación con localidades como Arica o Copiapó, por lo que se preferiría cambiar los medidores en estas dos últimas ciudades que representan un mayor costo total.

Tabla 25: Costo en pesos de la lectura presencial por cliente. Fuente: Datos entregados por Aguas Nuevas.

	Clientes	Costo Lectura [\$/cliente/mes]	Costo Lectura Localidad [\$/mes]	%
Arica	67.158	145,51	9.772.161	34,5%
Alto Hospicio	32.391	145,51	4.713.214	16,6%
Copiapó	54.906	213,48	11.721.333	41,4%
Lonquimay	1.774	134,83	239.188	0,8%
Pucón	10.646	134,83	1.435.400	5,1%
Porvenir	2.180	200,00	436.000	1,5%
			Total	28.317.296,47

6.4 **Aplicación del método AHP**

Al aplicar la escalas ajustadas señaladas en la Tabla 12, Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17, se construyen las matrices de comparación de alternativas bajo cada criterio. Se debe resguardar cumplir con el ratio de consistencia en cada una de ellas para que el método sea válido. El detalle de la construcción de estas matrices se puede ver en el Anexo 2, Anexo 3, Anexo 4, Anexo 5, Anexo 6 y Anexo 7

A continuación, se presentan las matrices de comparación de alternativas en la Tabla 26, Tabla 27, Tabla 28, Tabla 29, Tabla 30 y Tabla 31.

Tabla 26: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Geografía de la localidad.

Geografía de la localidad	Arica	Alto Hospicio	Copiapó	Lonquimay	Pucón	Porvenir	VECTOR PROPIO
Arica	1	1/7	1	3	1	3	0,1175
Alto Hospicio	7	1	9	9	7	9	0,6069
Copiapó	1	1/9	1	1	1	1	0,0744
Lonquimay	1/3	1/9	1	1	1	1	0,0618
Pucón	1	1/7	1	1	1	1	0,0776
Porvenir	1/3	1/9	1	1	1	1	0,0618
CR	3%	Cumple					1,0000

Tabla 27: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Edad de los medidores.

Edad de los medidores	Arica	Alto Hospicio	Copiapó	Lonquimay	Pucón	Porvenir	VECTOR PROPIO
Arica	1	1	1/2	1	1/2	1	0,1182
Alto Hospicio	1	1	1/2	1	1/2	1	0,1182
Copiapó	2	2	1	2	1	5	0,2759
Lonquimay	1	1	1/2	1	1/2	2	0,1314
Pucón	2	2	1	2	1	5	0,2759
Porvenir	1	1	1/5	1/2	1/5	1	0,0805
CR	4%	Cumple					1,0000

Tabla 28: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Efectividad en la Lectura.

Efectividad Lectura	Arica	Alto Hospicio	Copiapó	Lonquimay	Pucón	Porvenir	VECTOR PROPIO
Arica	1	1	1/5	1	2	5	0,1275
Alto Hospicio	1	1	1/5	1	2	5	0,1275
Copiapó	5	5	1	5	7	9	0,5202
Lonquimay	1	1	1/5	1	2	5	0,1275
Pucón	1/2	1/2	1/7	1/2	1	2	0,0647
Porvenir	1/5	1/5	1/9	1/5	1/2	1	0,0326
CR	2%	Cumple					1,0000

Tabla 29: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Localidades de alto riesgo.

Localidades de alto riesgo	Arica	Alto Hospicio	Copiapó	Lonquimay	Pucón	Porvenir	VECTOR PROPIO
Arica	1	1/2	1	1/5	1	1	0,0917
Alto Hospicio	2	1	2	1/2	2	2	0,1907
Copiapó	1	1/2	1	1/5	1	1	0,0917
Lonquimay	5	2	5	1	5	5	0,4425
Pucón	1	1/2	1	1/5	1	1	0,0917
Porvenir	1	1/2	1	1/5	1	1	0,0917
CR	0%	Cumple					1,0000

Tabla 30: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Consumo promedio de la comuna.

Consumo promedio	Arica	Alto Hospicio	Copiapó	Lonquimay	Pucón	Porvenir	VECTOR PROPIO
Arica	1	2	2	5	5	5	0,3809
Alto Hospicio	1/2	1	1/2	2	2	2	0,1522
Copiapó	1/2	2	1	5	2	2	0,2309
Lonquimay	1/5	1/2	1/5	1	1	1	0,0711
Pucón	1/5	1/2	1/2	1	1	1	0,0824
Porvenir	1/5	1/2	1/2	1	1	1	0,0824
CR	3%	Cumple					1,0000

Tabla 31: Matriz de comparación de alternativas bajo el criterio Costo lectura presencial.

Costo Lectura Presencial	Arica	Alto Hospicio	Copiapó	Lonquimay	Pucón	Porvenir	VECTOR PROPIO
Arica	1	2	1	7	5	7	0,3211
Alto Hospicio	1/2	1	1/5	2	2	2	0,1103
Copiapó	1	5	1	9	7	7	0,4105
Lonquimay	1/7	1/2	1/9	1	1	1	0,0502
Pucón	1/5	1/2	1/7	1	1	1	0,0554
Porvenir	1/7	1/2	1/7	1	1	1	0,0524
CR	2%	Cumple					1,0000

Finalmente, multiplicando las matrices de ponderaciones de las alternativas con la ponderación de criterios se obtiene el peso de cada alternativa, las cuales entregan información sobre la decisión que se debe adoptar, obteniendo así la Tabla 32.

Tabla 32: Multiplicación de matrices para la toma de decisión.

Alternativas	Ponderación Alternativas por Criterio 1	Ponderación Alternativas por Criterio 2	Ponderación Alternativas por Criterio 3	Ponderación Alternativas por Criterio 4	Ponderación Alternativas por Criterio 5	Ponderación Alternativas por Criterio 6	Ponderación Criterios	Decisión
Arica	0,1175	0,1182	0,1275	0,0917	0,3809	0,3211	0,2445	19,0%
Alto Hospicio	0,6069	0,1182	0,1275	0,1907	0,1522	0,1103	0,3794	24,8%
Copiapó	0,0744	0,2759	0,5202	0,0917	0,2309	0,4105	0,0433	23,1%
Lonquimay	0,0618	0,1314	0,1275	0,4425	0,0711	0,0502	0,0391	10,7%
Pucón	0,0776	0,2759	0,0647	0,0917	0,0824	0,0554	0,2153	15,2%
Porvenir	0,0618	0,0805	0,0326	0,0917	0,0824	0,0524	0,0783	7,2%

7 Resultados

7.1 Ranking de localidades

Del ejercicio anterior se obtuvo el ranking de localidades por las que es más conveniente comenzar el recambio, mostrado en la Tabla 33.

Tabla 33: Orden sugerido para el recambio (de + recomendada a - recomendada).

Orden de localidades	%
Alto Hospicio	24,8%
Copiapó	23,1%
Arica	19,0%
Pucón	15,2%
Lonquimay	10,7%
Porvenir	7,2%

La localidad más recomendada para comenzar el cambio sería la comuna de Alto Hospicio, con el 24,8% del peso de decisión. Este resultado tiene sentido, ya que uno de los criterios que más ponderan es la geografía de la localidad, con un 24,5%, en el cual Alto Hospicio lidera el ranking al tener muchos clientes en un área más reducida que el resto de las comunas. Aunque para el criterio que más pondera (Edad de los medidores, con un 37,94%) Alto Hospicio no se encuentra entre las primeras comunas, el criterio de consumo mensual por cliente ayudó a que esta comuna sea la más eficiente para comenzar el cambio del parque.

Al aplicar el método se pudo apreciar que, al ajustar las matrices de comparaciones entre pares, cuando existen localidades con datos que se escapan de la media de las otras localidades, el coeficiente de consistencia se escapa de los valores máximos. Es por ello que se recomienda revisar los rangos de las matrices de comparaciones para cada caso en específico para evitar problemas de consistencias con las matrices.

Finalmente, hay que señalar que en este trabajo se aplicó la metodología propuesta a una serie de localidades a nivel comuna, pero también puede ser aplicada siguiendo otras delimitaciones territoriales, como por ejemplo a regiones, barrios residenciales o sectores industriales. Es importante destacar que, de sectorizar una cierta ciudad por poblaciones o villas, el método podría priorizar la implementación de medición remota en sectores más acomodados debido a que, por lo general, presentan mayor consumo de agua que destinan al riego o piscinas. Esto puede provocar un sentimiento de discriminación en habitantes de otros sectores al ver que aquellos con mayores ingresos están siendo los primeros beneficiarios de este sistema, lo que podría generar malestar y quejas.

7.2 Análisis de sensibilidad

Con el fin de visualizar los cambios en el ranking de las localidades según los diferentes parámetros del método, se realizaron pruebas variando las ponderaciones de los criterios. Se reconoce que lo que es relevante para una empresa puede diferir significativamente de lo que considera importante otra compañía proveedora. En el presente caso, se destaca la importancia significativa que tiene la geografía de la localidad para la instalación de antenas por sobre todos los otros criterios, seguida por el costo de la lectura presencial y la antigüedad de los medidores, a los cuales se les asigna una importancia intermedia. Por último, los demás criterios tienen una ponderación baja. Como resultado, la matriz de ponderaciones se presenta en la Tabla 34.

Tabla 34: Matriz de ponderación de importancia para análisis de sensibilidad.

	Geografía	Edad Medidores	Efectividad Lectura	Localidades de Riesgo	Consumo Promedio	Costo Lectura	Vector Propio
Geografía	1	5	9	9	7	9	0,5629
Edad Medidores	1/5	1	5	5	1/2	5	0,1453
Efectividad Lectura	1/9	1/5	1	1	1/5	1	0,0382
Localidades de Riesgo	1/9	1/5	1	1	1/5	1	0,0382
Consumo Promedio	1/7	2	5	5	1	5	0,1772
Costo Lectura	1/9	1/5	1	1	1/5	1	0,0382
CR	5%	Cumple					1,0000

El análisis muestra que las localidades mantienen el mismo orden, excepto Arica y Copiapó. Alto Hospicio sigue siendo la más recomendada para el recambio, como se aprecia en la Tabla 35.

Tabla 35: Ranking de localidades según análisis de sensibilidad.

Orden de localidades	%
Alto Hospicio	40,2%
Arica	17,1%
Copiapó	16,2%
Pucón	10,6%
Lonquimay	9,0%
Porvenir	6,8%

Se evaluó el rendimiento del modelo al modificar las escalas de comparación de las alternativas mientras se mantiene la misma matriz de ponderación de criterios del inicio. Se llevó a cabo una prueba específica en la escala de la geografía de las localidades, que es uno de los criterios más relevantes según la matriz previamente mencionada. En este caso, la escala se ajustó para ser menos equitativa en los porcentajes de cada intensidad de importancia, obteniendo la escala de la Tabla 36. Como resultado, la matriz obtuvo un índice de consistencia del 9%, que está cerca de sobrepasar el límite aceptable. Esto es debido a que la escala de comparación no fue optimizada para los datos obtenidos de clientes por metro cuadrado.

Tabla 36: Escala de comparaciones del criterio "Geografía de la localidad" para el análisis de sensibilidad.

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Ambas localidades tienen la misma cantidad de clientes por m ²
3	Mayor	La localidad tiene al menos un 1% más de clientes por m ²
5	Bastante Mayor	La localidad tiene al menos un 20% más de clientes por m ²
7	Mucho Mayor	La localidad tiene al menos un 30% más de clientes por m ²
9	Extremadamente Mayor	La localidad tiene al menos un 40% más de clientes por m ²
2,4,6,8	Para transar entre los valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción.

A pesar de cambiar uno de los parámetros más importantes y elevar el ratio de consistencia casi al límite, el ranking sigue siendo el mismo que se obtuvo anteriormente, como se puede ver en la Tabla 37.

Tabla 37: Ranking de localidades según análisis de sensibilidad.

Orden de localidades	%
Alto Hospicio	25,0%
Copiapó	22,9%
Arica	19,6%
Pucón	15,7%
Lonquimay	10,1%
Porvenir	6,7%

En conclusión, el análisis de sensibilidad realizado en el método AHP demostró que, a pesar de cambiar las ponderaciones de los criterios o calibrar las escalas de comparación, el ranking de las localidades tiende a arrojar resultados similares. Sin embargo, es importante validar los índices de consistencia, calibrándolos adecuadamente en relación con las escalas de comparación para obtener resultados más precisos. Por lo tanto, es fundamental realizar una calibración rigurosa de las escalas de comparación, con criterios verificables y trazables, para garantizar la exactitud y la fiabilidad del modelo.

8 Discusión y recomendaciones

Migrar a un parque de medición remota eleva el estándar del servicio sanitario entregado. Como país, se debiese ir en la dirección del progreso y mirar más allá de las circunstancias o rentabilidades a corto plazo, para pensar en las ventajas futuras, ya que, como se ha observado en la experiencia de otros países, incorporar esta tecnología trae una serie de beneficios que pueden ser aprovechados tanto por el consumidor como por las empresas. Para implementar esta tecnología de manera eficiente, todas las partes interesadas deben estar informadas y cooperar activamente. Este trabajo propone un método simple para elegir las localidades que presentan los mayores beneficios al cambiar su parque de medidores y se entregan recomendaciones para las partes involucradas en este proceso.

8.1 Respecto a los consumidores

Implementar sistemas de medición remotos y continuos, hace posible obtener una cantidad importante de datos de consumo, datos que son imposibles de obtener con el sistema de medición presencial que se utiliza hoy en día en la mayoría de los hogares chilenos. Algunos medidores pueden ser configurados para registrar datos incluso cada 15 minutos (frecuencias altas implican menor rendimiento de la batería). Con tal frecuencia de toma de datos se hace posible obtener patrones de consumo de cada cliente, información que puede ser utilizada para detectar anomalías como fugas o emergencias que pueden ocurrir dentro del hogar. Sin embargo, saber los hábitos de consumo de los hogares puede provocar inseguridades a los usuarios, ya que las empresas, por ejemplo, podrían saber si la casa ha estado sin habitantes un tiempo, si los moradores suelen salir los fines de semana o cuáles son los horarios del día en que la casa queda sola. Se recomienda que exista una campaña comunicacional que informe al cliente sobre la protección a su privacidad y el cuidado con el que se van a tratar los datos recopilados sobre sus patrones de consumo. Asimismo, esta campaña debe dejar en claro la forma en la que se va a financiar este proyecto, ya que uno de los principales temores del consumidor es el incremento tarifario que pueda afectar su bolsillo con este cambio de parque. Según el trabajo realizado por Camilo Fuentes (2021), el incremento en la tarifa al incorporar medidores de lectura remota podría oscilar alrededor del 5% de las tarifas actuales, lo cual es un aumento relativamente bajo en comparación con todos los beneficios relacionados a esta tecnología. Es importante que se generen las instancias para que los usuarios puedan realizar sus preguntas y exponer las inquietudes que les podrían generar estos proyectos, como así también informarles sobre los beneficios que esta tecnología significa para ellos.

8.2 Respecto al estado regulador

En Chile, la implementación de sistemas de lectura remota ha tenido una lenta implementación y, aún al año 2021, los sistemas de lectura remota no alcanzaban ni siquiera el 2% del total de medidores en operación en el país. Aunque existen planes piloto en la cartera de algunas empresas, se hace necesario del involucramiento del estado para impulsar de manera masiva el cambio del parque de medidores. Por ende, el estado debería evaluar hacer una inyección de recursos destinados a estos proyectos para incentivar a las sanitarias a llevarlos a cabo.

Es factible que los clientes experimenten un aumento en sus costos debido a la implementación de un nuevo y mejorado estándar de servicio. No obstante, corresponde al Estado garantizar que los cobros realizados a los consumidores no sean excesivos, lo cual requiere de la regulación adecuada para proteger a los usuarios de tarifas arbitrarias o desmedidas. Además, se debe considerar la posibilidad de apoyar a las familias más vulnerables con subsidios que les permitan afrontar estos aumentos sin mayores dificultades. De esta manera, se lograría un equilibrio entre la calidad del servicio y la capacidad de pago de los usuarios, lo que redundaría en una mayor satisfacción de todos los actores involucrados.

Chile está adherido a la Agenda 2030 para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales establecen metas para a nivel global para abordar los principales desafíos que enfrenta la humanidad, como la pobreza, desigualdad y cambio climático (Ministerio del Desarrollo Social y de Familia, s.f.). Tener instalado un parque de medición remota contribuye a los logros de estos objetivos, ya que éste puede ayudar a gestionar el consumo de agua de manera más eficiente (ODS 6: Agua limpia y saneamiento), facilita la gestión de la red de distribución del agua (ODS 11: Ciudades inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles) y contribuyen a la reducción del consumo de agua (ODS 12: Producción y consumo responsables). Bajo esta mirada, la SISS debería reconocer esta tecnología, asumiendo que tienen costos más elevados que la tecnología utilizada actualmente, con el objetivo de avanzar hacia la meta 2030, lo que implicaría en un ajuste de las tarifas, como el referido en el párrafo anterior.

Se sugiere, para mitigar el efecto en las cuentas, que el ajuste tarifario se realice de manera paulatina, en la medida que se vaya concretando el reemplazo de las unidades, y en un período previamente acordado con las empresas sanitarias, idealmente comprometido en los programas de inversión de los planes de desarrollo.

Además, se recomienda poner especial atención en fiscalizar el correcto uso que las empresas le dan a información de los usuarios del servicio. Los datos de consumo rebelan patrones de conducta de los habitantes de los hogares, por lo que dicha información debe ser protegida firmemente bajo la ley.

8.3 Respetto a las empresas prestadoras de servicio

Es deber de las empresas hacer buen uso de los datos recopilados de sus usuarios, con el fin detectar anomalías, mejorar la eficiencia de las redes y optimizar del uso del valioso recurso agua. Por ello, además de velar por proteger la integridad de la información, se debe invertir en procedimientos y sistemas de ciberseguridad que disminuyan la vulnerabilidad ante intentos de robo de información.

También es responsabilidad de la empresa mantenerse actualizados respecto a las nuevas tecnologías de medición remota que están siendo lanzadas constantemente al mercado, con el fin de ofrecer el mejor servicio posible.

Se sugiere también que las empresas implementen este sistema de medición de manera paulatina en todas las localidades atendidas cuando ocurran los siguientes eventos:

- Reemplazo del medidor: Cuando exista un cliente que precise el cambio de su medidor, ya sea por falla o por término de la vida útil del mismo, se debe realizar el reemplazo por un medidor equipado con tecnología para lectura remota.
- Instalación de nuevos medidores: De haber proyectos que conecten nuevos clientes, se debe preferir medidores compatibles con Telelectura para ser instalados en los nuevos arranques.
- Planes de renovación de equipos: De haber proyectos para la renovación programada de equipos en ciertas zonas, se debe preferir instalar medidores equipados para lectura remota.

De esta manera, puede que algunos medidores queden instalados en zonas donde aún no se implemente la Telelectura, pero los equipos estarán listos para cuando exista un proyecto en el futuro que conecte los medidores a la red de medición. Así, la empresa evita un nuevo cambio de equipos, lo cual supone un costo adicional que puede ser ahorrado si desde un inicio se implementa la migración gradual del parque. En síntesis, es deseable que todo nuevo medidor instalado esté preparado para la Telelectura, sin importar si en la zona en la que el medidor es instalado la lectura aún se haga de forma presencial. Se recomienda, además, optar por la instalación de medidores estáticos (ultrasónicos o electromagnéticos) pre equipados para Telelectura, ya que estos son menos vulnerables a fraudes, son más precisos (poseen un mayor R) y tienen una mayor vida útil en comparación con los medidores mecánicos híbridos (volumétricos o velocimétricos) equipados con elementos de transmisión adicionales, los cuales deben ser reemplazados cada 6-7 años debido al desgaste de sus piezas móviles.

8.4 Respecto a la metodología de toma de decisiones

Si bien el método AHP utilizado en este informe se aplicó a un set específico de localidades y bajo parámetros fijos, se puede ajustar la metodología para evaluar otras localidades que sean de interés para otras empresas sanitarias. Asimismo, se pueden evaluar las alternativas bajo criterios distintos a los propuestos en este informe, pues es posible que los conceptos o sus ponderaciones de importancia cambien según los intereses de las distintas sanitarias. Esta versatilidad permite adaptar el método a diferentes situaciones, lo que lo hace una herramienta útil para investigaciones que requieran este análisis. Además, su facilidad de uso lo hace accesible a todas las personas, aumentando su aplicabilidad.

Como alternativa a este método, en investigaciones futuras se podría implementar un sistema de redes neuronales que permita realizar la toma de decisiones de manera computarizada, para mejorar la eficiencia y precisión de esta tarea. Las redes neuronales son un tipo de modelo de aprendizaje automático basado en la estructura de funcionamiento del cerebro humano, compuesto por “neuronas” que se conectan entre sí y procesan gran cantidad de datos para encontrar patrones entre ellos. Esta red se puede entrenar con datos sobre distintas localidades para poder predecir el sector que puede tener mayor impacto o beneficio una vez que se realice el recambio del parque de medidores. Cabe señalar que este método necesita tener una gran cantidad de datos de entrenamiento y utilizar técnicas de aprendizaje automático. También hay que asegurarse de que el sistema esté calibrado para que los resultados obtenidos sean coherentes.

9 Referencias

- Beal, C., Flynn, J. (2014). The 2014 Review of Smart Metering and Intelligent Water Networks in Australia & New Zealand. Recuperado de <https://doi.org/10.13140/2.1.2908.0648>
- Beal, C., Flynn, J. (2015). Toward the digital water age: Survey and case studies of Australian water utility smart-metering programs. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jup.2014.12.006>
- Boyle, T., Giurco, D., Mukheibir, P., Liu, A., Moy, C., White, S., & Stewart, R. (2013). Intelligent Metering for Urban Water: A Review. *Water*, 1052–1081. MDPI AG. Recuperado de <http://doi.org/10.3390/w5031052>
- Centro de Estudios y Análisis del Delito (s.f.) Estadísticas Delictuales. Ministerio del Interior. <http://cead.spd.gov.cl/estadisticas-delictuales/>
- D.F.L. N° 382 de 1988. Ley General de Servicios Sanitarios. 31 de diciembre de 1987. D.O., Santiago, Chile.
- D.S. N° 1199 de 2004. Aprueba el reglamento de las concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios. 09 de noviembre de 2005. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council (25 de octubre de 2012). Energy Efficiency. Recuperado el 08 de diciembre de 2022 de <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:en:PDF>
- Disi, R., Quiroz, C. (1 de mayo de 2022). ¿Cómo se vive el conflicto en el corazón de la Araucanía? Tercera Dosis. <https://terceradosis.cl>
- El Mostrador (2021, 26 mayo). Estudio revela que focos de conflicto en La Araucanía se sitúan en terrenos que fueron cedidos al pueblo mapuche durante la Reforma Agraria y luego arrebatados en dictadura. Diario El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/destacado/2021/05/26/estudio-revela-que-focos-de-conflicto-en-la-araucania-se-situan-en-terrenos-que-fueron-cedidos-al-pueblo-mapuche-durante-la-reforma-agraria-y-luego-arrebatados-en-dictadura/>
- Fuentes, C. (2021). Análisis de alternativas para la implementación de un caudal vital en la red domiciliaria de agua potable [Trabajo de titulación, Universidad Técnica Federico Santa María].
- González, F. (2012) SIMOCADO (Sistema de Monitoreo del Consumo de Agua Domiciliaria) [Trabajo de titulación, Universidad Técnica Federico Santa María] Repositorio Digital USM.
- Herrera, F. (2018) Plan para Implementación de Sistemas de Monitoreo Remoto de Grandes Consumidores de Agua Potable [Trabajo de titulación, Universidad Técnica Federico Santa María] Repositorio Digital USM.
- Hutton, G. (2019). *Water Meters: The Rights of Customers and Water Companies*. pp. 1–19
- Inman, D., Jeffrey, P. (2006). A review of residential water conservation tool performance and influences on implementation effectiveness. *Urban Water J.*, 3, 127–143.

Ministerio de Desarrollo Social y Familia (s.f.) Chile Agenda 2030, Objetivos del Desarrollo Sostenible. Gobierno de Chile. <https://www.chileagenda2030.gob.cl/>

Monks, I., Stewart, R.A., Sahin, O., Keller, R. (2019) Revealing unreported benefits of digital water metering: Literature review and expert opinions. *Water*, 11, 838.

Msamadya, S., Joo, J. C., Lee, J. M., Choi, J. S., Lee, S., Lee, D. J., Go, H. W., et al. (2022). Role of Water Policies in the Adoption of Smart Water Metering and the Future Market. *Water*, 14(5), 826. MDPI AG. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.3390/w14050826>

Normativa Chilena Oficial (2003) Medidores para agua potable fría, tipo velocimétrico, para caudales nominales mayores o iguales a 15 m³/h - Especificaciones, ensayos y requisitos de instalación. (NCh2763 Of.2003) División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, Chile.

Normativa Chilena Oficial (2012) Medición de agua en tuberías cerradas completamente llenas – Medidores para agua potable fría y caliente – Parte 1: Especificaciones. (NCh3274/1 Of.2012) División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, Chile.

Ord. N° 6204 de 2014 [Super Intendencia de Servicios Sanitarios] por la cual se instruyen medidas referidas a la nueva norma de medidores. Santiago, 16 de diciembre de 2014.

Saaty, T.L. (1982). *Decision Making for Leaders: The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*. Lifetime Learning Publications, Belmont, California.

Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) (2021) Informe de Gestión del Sector Sanitario. Gobierno de Chile, Chile.

Thiemann, R., Haas, J., Schlenger, D. (2011). Reaping the benefits of AMI: A Kansas City case study. *Water Work Assoc.*, 103, 38–41.

10 Anexos

	9	7	5	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9	
	Extremadamente Más Importante	Mucho Más Importante	Bastante Más Importante	Moderadamente Más Importante	Igual	Moderadamente Más Importante	Bastante Más Importante	Mucho Más Importante	Extremadamente Más Importante	
Geografía de la localidad						X				Edad de los medidores
Geografía de la localidad			X							Efectividad de la lectura
Geografía de la localidad		X								Localidades de alto riesgo
Geografía de la localidad				X						Consumo promedio de la localidad
Geografía de la localidad				X						Costo de la lectura presencial
Edad de los medidores		X								Efectividad de la lectura
Edad de los medidores	X									Localidades de alto riesgo
Edad de los medidores				X						Consumo promedio de la localidad
Edad de los medidores			X							Costo de la lectura presencial
Efectividad de la lectura					X					Localidades de alto riesgo
Efectividad de la lectura							X			Consumo promedio de la localidad
Efectividad de la lectura						X				Costo de la lectura presencial
Localidades de alto riesgo							X			Consumo promedio de la localidad
Localidades de alto riesgo						X				Costo de la lectura presencial
Consumo promedio de la localidad			X							Costo de la lectura presencial

CR 3% Cumple

Anexo 1: Detalle de las comparaciones entre pares de criterios para la asignación de matriz de importancia.

	9	7	5	3	1	1/3	1/5	1/7	1/9		
Geografía de la localidad	Extremadamente Mayor	Mucho Mayor	Bastante Mayor	Mayor	Igual	Mayor	Bastante Mayor	Mucho Mayor	Extremadamente Mayor	Geografía de la localidad	Diferencia Porcentual
Arica								X		Alto Hospicio	-50%
Arica					X					Copiapó	13%
Arica				X						Lonquimay	17%
Arica					X					Pucón	7%
Arica				X						Porvenir	17%
Alto Hospicio	X									Copiapó	63%
Alto Hospicio	X									Lonquimay	67%
Alto Hospicio		X								Pucón	57%
Alto Hospicio	X									Porvenir	67%
Copiapó					X					Lonquimay	3%
Copiapó					X					Pucón	-6%
Copiapó					X					Porvenir	4%
Lonquimay					X					Pucón	-10%
Lonquimay					X					Porvenir	0%
Pucón					X					Porvenir	10%

CR 3% Cumple

Anexo 2: Detalle de las comparaciones entre pares para el criterio "Geografía de la localidad" según la diferencia porcentual entre localidades.

	9	7	5	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9		
Edad de los medidores	Extremadamente Mayor	Mucho Mayor	Bastante Mayor	Mayor	Igual	Mayor	Bastante Mayor	Mucho Mayor	Extremadamente Mayor	Edad de los medidores	Diferencia Porcentual
Arica					X					Arica	-0,3%
Arica						X				Copiapó	-22,5%
Arica					X					Lonquimay	-7,9%
Arica						X				Pucón	-23,3%
Arica					X					Porvenir	4,9%
Alto Hospicio						X				Copiapó	-22,2%
Alto Hospicio					X					Lonquimay	-7,6%
Alto Hospicio						X				Pucón	-23,0%
Alto Hospicio					X					Porvenir	5,2%
Copiapó				X						Lonquimay	14,5%
Copiapó					X					Pucón	-0,9%
Copiapó			X							Porvenir	27,3%
Lonquimay						X				Pucón	-15,4%
Lonquimay				X						Porvenir	12,8%
Pucón			X							Porvenir	28,2%

CR 4% Cumple

Anexo 3: Detalle de las comparaciones entre pares para el criterio "Edad de los medidores" según la diferencia porcentual entre localidades.

	9	7	5	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9		
Efectividad de la lectura	Extremadamente Mayor	Mucho Mayor	Bastante Mayor	Mayor	Igual	Mayor	Bastante Mayor	Mucho Mayor	Extremadamente Mayor	Efectividad de la lectura	Diferencia Porcentual
Arica					X					Alto Hospicio	0%
Arica							X			Copiapó	-3%
Arica					X					Lonquimay	0%
Arica				X						Pucón	2%
Arica			X							Porvenir	4%
Alto Hospicio							X			Copiapó	-3%
Alto Hospicio					X					Lonquimay	0%
Alto Hospicio				X						Pucón	2%
Alto Hospicio			X							Porvenir	4%
Copiapó			X							Lonquimay	3%
Copiapó		X								Pucón	5%
Copiapó	X									Porvenir	7%
Lonquimay				X						Pucón	2%
Lonquimay			X							Porvenir	4%
Pucón				X						Porvenir	2%

CR 2% Cumple

Anexo 4: Detalle de las comparaciones entre pares para el criterio "Efectividad de la lectura" según la diferencia porcentual entre localidades.

	9	7	5	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9	
Localidades de alto riesgo	Extremadamente Mayor	Mucho Mayor	Bastante Mayor	Mayor	Igual	Mayor	Bastante Mayor	Mucho Mayor	Extremadamente Mayor	Localidades de alto riesgo
Arica						X				Alto Hospicio
Arica					X					Copiapó
Arica							X			Lonquimay
Arica					X					Pucón
Arica					X					Porvenir
Alto Hospicio				X						Copiapó
Alto Hospicio						X				Lonquimay
Alto Hospicio				X						Pucón
Alto Hospicio				X						Porvenir
Copiapó							X			Lonquimay
Copiapó					X					Pucón
Copiapó					X					Porvenir
Lonquimay			X							Pucón
Lonquimay			X							Porvenir
Pucón					X					Porvenir

CR 0% Cumple

Anexo 5: Detalle de las comparaciones entre pares para el criterio "Localidades de alto riesgo"..

	9	7	5	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9		
Consumo promedio de la localidad	Extremadamente Mayor	Mucho Mayor	Bastante Mayor	Mayor	Igual	Mayor	Bastante Mayor	Mucho Mayor	Extremadamente Mayor	Consumo promedio de la localidad	Diferencia Porcentual
Arica				X						Alto Hospicio	22%
Arica				X						Copiapó	10%
Arica			X							Lonquimay	40%
Arica			X							Pucón	33%
Arica			X							Porvenir	38%
Alto Hospicio						X				Copiapó	-12%
Alto Hospicio				X						Lonquimay	18%
Alto Hospicio				X						Pucón	11%
Alto Hospicio				X						Porvenir	16%
Copiapó			X							Lonquimay	30%
Copiapó				X						Pucón	23%
Copiapó				X						Porvenir	28%
Lonquimay					X					Pucón	-6%
Lonquimay					X					Porvenir	-1%
Pucón					X					Porvenir	5%

CR 3% Cumple

Anexo 6: Detalle de las comparaciones entre pares para el criterio "Consumo promedio de la localidad" según la diferencia porcentual entre localidades.

	9	7	5	2	1	1/2	1/5	1/7	1/9		
Costo de la lectura presencial	Extremadamente Mayor	Mucho Mayor	Bastante Mayor	Mayor	Igual	Mayor	Bastante Mayor	Mucho Mayor	Extremadamente Mayor	Costo de la lectura presencial	Diferencia Porcentual
Arica				X						Alto Hospicio	17,9%
Arica					X					Copiapó	-6,9%
Arica		X								Lonquimay	33,7%
Arica			X							Pucón	29,4%
Arica		X								Porvenir	33,0%
Alto Hospicio							X			Copiapó	-24,7%
Alto Hospicio				X						Lonquimay	15,8%
Alto Hospicio				X						Pucón	11,6%
Alto Hospicio				X						Porvenir	15,1%
Copiapó	X									Lonquimay	40,5%
Copiapó		X								Pucón	36,3%
Copiapó		X								Porvenir	39,9%
Lonquimay					X					Pucón	-4,2%
Lonquimay					X					Porvenir	-0,7%
Pucón					X					Porvenir	3,5%

CR 2% Cumple

Anexo 7: Detalle de las comparaciones entre pares para el criterio "Costo de la lectura presencial" según la diferencia porcentual entre localidades.