

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

MEJORAMIENTO DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA RED DE COLECTORES URBANOS DE ARICA

Carlos Alejandro Herlitz Opazo
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
SEPTIEMBRE 2026

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☐ Memoria o trabajo de título ☒ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Mejoramiento del modelo de gestión de la red de colectores urbanos de Arica.

Nombre del candidato(a): Carlos Alejandro Herlitz Opazo

Carrera / Grado: Magíster en Gestión del Agua – Master of Water Management

Campus: Vitacura **Departamento:** Ingeniería Comercial /Obras Civiles

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, **Vivian Aranda Núñez**, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 08-10-2026 Firma:

Estudiante o Candidato(a)

Fecha: 08-10-2026 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA
MWM MASTER OF WATER MANAGEMENT

Departamento de Ingeniería Comercial
Departamento de Obras Civiles

MEJORAMIENTO DEL MODELO DE GESTIÓN DE LA RED DE COLECTORES URBANOS DE ARICA

Tesina de magister presentada por
Carlos Alejandro Herlitz Opazo
Como requisito para optar al Grado de
MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA

Director de Tesina:
Dra. Vivian Aranda Núñez
Septiembre 2026

TITULO DE TESINA:

Mejoramiento del modelo de gestión de la red de colectores urbanos de Arica.

AUTOR:

CARLOS ALEJANDRO HERLITZ OPAZO

TRABAJO DE TESINA, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de MAGÍSTER EN GESTIÓN DEL AGUA – MASTER OF WATER MANAGEMENT de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones:

_____

_____

Dra. Vivian Aranda Núñez
Director de Tesina

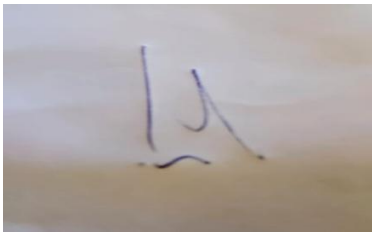
Dra. Teresita Arenas Yáñez
Correferente Interno

Mg. Gonzalo Murillo Vargas
Correferente Externo

Santiago, septiembre 2026

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Carlos Alejandro Herlitz Opazo

Firma: 

Fecha: Santiago, septiembre de 2026

AGRADECIMIENTOS

La finalización de este trabajo representa mucho más que el cumplimiento de un requisito académico. Constituye el resultado de dos años de esfuerzo, aprendizaje, dedicación y crecimiento personal, proceso que no habría sido posible sin el apoyo de muchas personas que me acompañaron durante este camino.

Quisiera comenzar agradeciendo a Dios por darme la fuerza, la salud y la perseverancia necesarias para enfrentar los desafíos que implicó compatibilizar la vida familiar, laboral y académica. Su guía me permitió mantener el rumbo y avanzar hasta alcanzar esta meta.

Asimismo, expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica Federico Santa María y al programa de Magíster en Gestión del Agua, por brindarme la oportunidad de ampliar mis conocimientos y desarrollar nuevas competencias profesionales. Sumado a lo anterior, agradezco a todos los profesores del programa, quienes compartieron generosamente su experiencia y conocimientos. Cada uno de ellos aportó una mirada distinta que permitió enriquecer mi comprensión sobre la gestión del agua y los desafíos que enfrenta y que enfrentará a futuro el sector sanitario.

Deseo reconocer también a Aguas del Altiplano y a todos los profesionales que colaboraron directa o indirectamente en esta investigación. La experiencia práctica adquirida durante años de trabajo en el área de alcantarillado fue una fuente de motivación para abordar esta problemática y buscar alternativas que contribuyan a mejorar la gestión de la infraestructura sanitaria de la ciudad de Arica.

Sin embargo, el agradecimiento más profundo y especial está dirigido a mi familia, quienes fueron el pilar fundamental durante todo este proceso, a mi esposa, gracias por tu amor incondicional, comprensión y paciencia a lo largo de estos años, por acompañarme en los momentos de mayor cansancio, por brindarme tu apoyo cuando las exigencias académicas parecían no tener fin y por confiar en mí incluso en aquellos momentos en que yo mismo dudaba de mis capacidades. Tu compañía, sacrificio y constante motivación hicieron posible que hoy pueda alcanzar esta meta.

A mis hijos, quienes han sido mi principal fuente de inspiración y motivación para seguir creciendo personal y profesionalmente. Muchas veces el tiempo dedicado al estudio significó restar momentos que habría querido compartir con ustedes, pero su cariño, alegría y comprensión fueron la fuerza que me impulsó a continuar adelante. Finalmente, agradezco a mis padres y a mis seres queridos, quienes me enseñaron desde temprana edad el valor del trabajo, la responsabilidad, la perseverancia y la importancia de la educación como herramienta de crecimiento personal.

RESUMEN EJECUTIVO

Las redes de alcantarillado enfrentan un proceso progresivo de envejecimiento que incrementa el riesgo de fallas, eleva los costos de operación y mantenimiento y dificulta la planificación eficiente de las inversiones. En la ciudad de Arica, una proporción importante de los colectores urbanos ha superado su vida útil de diseño y se encuentra expuesta a condiciones de alta salinidad que aceleran su deterioro estructural.

En este contexto, esta investigación tuvo como objetivo desarrollar y validar una metodología que fortaleciera la gestión de activos de la red de alcantarillado, permitiendo optimizar la priorización de inversiones destinadas a la renovación y rehabilitación de colectores. La propuesta busca reemplazar el enfoque tradicional de atención de emergencias, por uno preventivo sustentado en criterios técnicos, operacionales y económicos.

Para ello, se integró información proveniente del Sistema de Información Geográfica (GIS), registros históricos de fallas, antecedentes operacionales, programas de mantenimiento e inspecciones mediante circuito cerrado de televisión (CCTV). Con estos antecedentes se desarrolló una matriz de criticidad multicriterio, diseñada para identificar y jerarquizar los sectores de mayor vulnerabilidad de la red. Esto permitió orientar las inspecciones y las decisiones de inversión hacia los activos con mayor riesgo de falla, resultados que posteriormente fueron validados en terreno para cada colector identificado. Asimismo, el análisis económico demostró que la combinación de rehabilitación mediante tecnologías sin zanja (CIPP) y renovación convencional, aplicada únicamente en los tramos con daño estructural severo, permite reducir significativamente los costos de inversión, alcanzando una disminución del 62,3 % del CAPEX respecto de una estrategia basada exclusivamente en renovación mediante zanja abierta.

Los resultados evidencian que la integración de herramientas de gestión de activos, análisis de criticidad e inspección de precisión constituye una base sólida para mejorar la planificación de la infraestructura sanitaria. Además de optimizar la asignación de recursos, el modelo mejora la confiabilidad de la información técnica, reduce las intervenciones reactivas y favorece la continuidad operacional del sistema.

En consecuencia, la metodología desarrollada representa una herramienta de apoyo para la toma de decisiones estratégicas de Aguas del Altiplano, al proporcionar criterios objetivos para priorizar inversiones y seleccionar tecnologías de intervención. Dada su estructura y enfoque, el modelo presenta además un alto potencial de aplicación en otras empresas sanitarias que enfrentan el desafío de gestionar redes de alcantarillado envejecidas bajo restricciones técnicas, operacionales y presupuestarias.

ABSTRACT

Sewer systems face a progressive aging process that increases the risk of failure, raises operating and maintenance costs, and hinders efficient investment planning. In the city of Arica, a significant proportion of urban sewer mains has exceeded its design life and is exposed to high salinity conditions that accelerate their structural deterioration.

In this context, the objective of this research was to develop and validate a methodology to strengthen asset management of the sewer system, thereby optimizing the prioritization of investments for the renewal and rehabilitation of collectors. The proposal seeks to replace the traditional approach of responding to emergencies with a preventive approach based on technical, operational, and economic criteria.

To this end, information from the Geographic Information System (GIS), historical failure records, operational data, maintenance programs, and closed-circuit television (CCTV) inspections was integrated. Based on this data, a multi-criteria criticality matrix was developed, designed to identify and prioritize the network's most vulnerable sectors. This made it possible to focus inspections and investment decisions on the assets with the highest risk of failure; these results were subsequently validated in the field for each identified collector. Furthermore, the economic analysis demonstrated that combining rehabilitation using trenchless technologies (CIPP) with conventional renewal—applied only to sections with severe structural damage—significantly reduces investment costs, achieving a 62.3% reduction in CAPEX compared to a strategy based exclusively on open-trench renewal.

The results show that the integration of asset management tools, criticality analysis, and precision inspection provides a solid foundation for improving healthcare infrastructure planning. In addition to optimizing resource allocation, the model enhances the reliability of technical information, reduces reactive interventions, and promotes the system's operational continuity.

Consequently, the methodology developed serves as a decision-support tool for Aguas del Altiplano's strategic decision-making by providing objective criteria for prioritizing investments and selecting intervention technologies. Given its structure and approach, the model also has high potential for application in other water utilities facing the challenge of managing aging sewer networks under technical, operational, and budgetary constraints.

Índice de contenidos

AGRADECIMIENTOS **5**

RESUMEN EJECUTIVO **6**

ABSTRACT **7**

1. INTRODUCCIÓN **13**

2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO **16**

2.1. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO **16**
2.2. ALCANCE DEL ESTUDIO **17**

3. OBJETIVOS **19**

3.1. OBJETIVO GENERAL **19**
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS **19**

4. ESTADO DEL ARTE **21**

4.1. ANTECEDENTES DEL ESTADO DEL ARTE. **21**
4.1.1. Aporte de las asignaturas ***21***
4.2. PANEL DE EXPERTOS **33**
4.3. MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE **38**
4.3.1. Gestión de activos en redes de alcantarillado ***38***
4.3.2. Sistemas de Soporte a la Decisión para la Gestión de Activos de Alcantarillado ***40***
4.3.3. Integración de Datos y Análisis Espacial en la Gestión de Redes de Alcantarillado ***40***
4.3.4. Modelación del Deterioro: Enfoques Determinísticos y Probabilísticos ***41***
4.3.5. Análisis Multicriterio para la Evaluación de Criticidad y Priorización de Intervenciones ***42***
4.3.6. Benchmarking y Calibración de Modelos de Deterioro ***42***
4.3.7. Modelos Predictivos y Herramientas Avanzadas para la Gestión de Redes de Alcantarillado ***43***
4.3.8. Modelación del Envejecimiento mediante el Modelo de Supervivencia de Cohortes ***44***
4.3.9. Aplicación de la Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático en la Gestión de Activos de Alcantarillado ***45***
4.3.9.1. Benchmarking y Validación: La Necesidad de Métricas Locales 46
4.3.9.2. Sinergia entre Modelos para el Análisis de Criticidad en Arica 46
4.3.10. Metodologías Aplicadas y Contexto Local: El Caso de Arica ***47***
4.3.10.1. La Unidad de Análisis: El Concepto de Ramal 47
4.3.10.2. Indicadores de Desempeño Operacional (KPI) en la Red de Arica 47
4.3.10.3. El Catastro GIS como Fuente de Información Estructural 47
4.3.10.4. Hacia una Matriz de Criticidad Integrada: Normativa y Terreno 48
4.3.11. Herramientas de Diagnóstico y Detección de Fallas en la Infraestructura de Saneamiento ***48***
4.3.11.1. Inspección Televisiva (CCTV) y la Estandarización del Dato 49
4.3.11.2. Inspección Multisensorial: Sonar y Perfilado Láser 50
4.3.11.3. Detección de Infiltraciones y Conexiones Erróneas (I&I) 51
4.3.11.4. Interdependencia Operativa: La Limpieza Previa 51
4.3.12. Estrategias de Renovación y Rehabilitación de Colectores ***52***
4.3.12.1. Renovación Convencional: El Método de Zanja Abierta (Open Cut) 52
4.3.12.2. El Paradigma de las Tecnologías Sin Zanja (Trenchless Technology) 52
4.3.12.3. Métodos Específicos de Rehabilitación y Sustitución 53

4.3.12.4. Criterios de Selección y el Umbral de Inviabilidad Técnica 55
4.4. SUJETO DE ESTUDIO 55

5. PROPUESTA METODOLÓGICA 62

5.1. DESCRIPCIÓN Y TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LAS ETAPAS 62
5.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN 67
5.2.1. El Catastro GIS como Base de Información de la red 67
5.2.2. El Sistema CRM: Registro de Eventos Operacionales de la Red 70
5.2.3. Sistema Sipreco: Registro de Discontinuidades. 71
5.2.4. Fieldmaps y Survey: Visualización y registro de datos en terreno 71
5.3. INTEGRACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN DE DATOS 73
5.3.1. Caracterización Física de la Red 73
5.3.2. Integración de Condiciones Operacionales y Comportamiento Histórico de la Red 74
5.3.3. Gestión Operativa de la Red: Mantenciones Preventivas y Correctivas 74
5.4. FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD INTEGRADA 75
5.4.1. Estandarización y Clasificación de Variables 76
5.4.2. Ponderación de Variables del Modelo 78
5.4.3. Cálculo del Indicador Final de Criticidad 79
5.4.4. Metodología de Calibración e Iteración de Ponderaciones 79
5.4.5. Homogeneización del Criterio Experto 79
5.4.6. Proceso Iterativo de Ajuste de Ponderaciones 80

6. APLICACIÓN METODOLÓGICA 82

6.1. EL RAMAL COMO UNIDAD DE GESTIÓN OPERATIVA 82
6.1.1. Definición del ramal 82
6.1.2. Cálculo del indicador por ramales 83
6.1.3. Justificación Técnica y Operacional de la Gestión por Ramales 84
6.2. CÁLCULO DEL INDICADOR POR RAMALES Y SELECCIÓN DE SECTORES CRÍTICOS. 84
6.3. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS RAMALES CRÍTICOS 85
6.3.1. Ramal RR-051 (Indicador de Criticidad: 4,10) 86
6.3.2. Ramal DP-109 (Indicador de Criticidad: 3,91) 88
6.3.3. Ramal RR-047 (Indicador de Criticidad: 3,69) 90
6.3.4. Ramal DP-118 (Indicador de Criticidad: 3,57) 92
6.4. DIAGNÓSTICO DE LOS RAMALES CRÍTICOS 94
6.4.1. Complemento del Diagnóstico mediante Inspección Televisiva (CCTV) 95
6.4.2. Diagnóstico Ramal RR-051 (Indicador de Criticidad: 4,10) 96
6.4.3. Diagnóstico Ramal DP-109 (Indicador de Criticidad: 3,91) 99
6.4.4. Diagnóstico RR-047 (Indicador de Criticidad: 3,69) 102
6.4.5. Diagnóstico Ramal DP-118 (Indicador de Criticidad: 3,57) 104

7. IMPORTANCIA ESTRATÉGICA DEL CAPEX EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS 107

7.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MODALIDADES DE CONTRATACIÓN DE OBRAS CIVILES EN ZONAS EXTREMAS 107
7.1.1. Limitaciones y Estructura de Costos de la Licitación Pública Tradicional 108
7.1.2. Ventajas y Restricciones del Contrato de Emergencia Local 108
7.1.3. Ventajas de la Rehabilitación Sin Zanja (CIPP) 109
7.1.4. Eficiencia Económica de la Rehabilitación Frente a la Renovación a Zanja Abierta 109
7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO CONSOLIDADO DE LOS RAMALES PRIORITARIOS 110

8. RESULTADOS GLOBALES DE LA INVESTIGACIÓN 111
8.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR CRITICIDAD DE LOS COLECTORES 111
8.2. RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN MEDIANTE INSPECCIÓN TELEVISIVA (CCTV) 112
8.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS ECONÓMICO Y OPTIMIZACIÓN DEL CAPEX 113
8.4. ASPECTO MEDIOAMBIENTAL 114
9. CONCLUSIONES 115
10. RECOMENDACIONES 118
11. BIBLIOGRAFÍA 120
12. WEBGRAFÍA 124
13. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS 125

Índice de Figuras

Figura 4-1: Proceso de planificación estratégica empresarial para el sector del agua y/o el alcantarillado. 39
Figura 4-2: Aplicación del modelo en gestión de activos 43
Figura 4-3: Curva de supervivencia del modelo de cohortes. 44
Figura 4-4: Arquitectura de Machine Learning. 45
Figura 4-5: Ejemplos de defectos estructurales en colectores (PACP). 49
Figura 4-6: Sistema de clasificación de condición PACP. 50
Figura 4-7: Rehabilitación de tuberías con CIPP. 53
Figura 4-8: Reemplazo de tuberías mediante Pipe Bursting. 54
Figura 4-9: Ejemplo reparaciones puntuales con Part Liners o Packers (tecnología sin zanja). 54
Figura 4-10: Catastro de redes de alcantarillado de la localidad de Arica, generado por ArcGis Web. 57
Figura 4-11: Distribución de materialidad red de alcantarillado de Arica 58
Figura 4-12: Distribución de la red de alcantarillado de Arica según su antigüedad. 59
Figura 4-13: Distribución de la red de alcantarillado de Arica según su diámetro. 60
Figura 4-14: Redes de colectores de Arica, sectorizada y tematizada en ramales. 61
Figura 5-1: Cronograma de propuesta metodológica. 66
Figura 5-2: Mapa mental del estudio. 67
Figura 5-3: Sectorización de GIS de red de colectores de Arica. 69
Figura 5-4: Página de inicio sistema CRM 70
Figura 5-5: Página ingreso de datos a CRM 71
Figura 5-6: Página de inicio ArcGis Fieldamps 72
Figura 5-7: Gráfico de ajuste de indicador, asimilando la curva a la representada por el personal experto. 81
Figura 6-1: Mapa de ArcgisWeb de la ciudad de Arica, dentro de las cuales se encuentran las subcuencas. 83
Figura 6-2: Georreferenciación del Ramal RR-051 87
Figura 6-3: Georreferenciación del Ramal DP-109. 89
Figura 6-4: Georreferenciación del Ramal RR-047. 91
Figura 6-5: Georreferenciación del Ramal DP-118. 93
Figura 6-6: Inspección televisiva del colector ID COL-033655, el cual se detecta con un importante desgaste. 97
Figura 6-7: Inspección televisiva del colector ID COL-033655, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base. 98
Figura 6-8: Inspección televisiva del colector ID COL-033656, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base. 98
Figura 6-9: Inspección televisiva del colector ID COL-033655, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base. 99
Figura 6-10: Inspección televisiva del colector ID COL-043903, el cual se detecta con un importante desgaste. 101
Figura 6-11: Inspección televisiva del colector ID COL-043902, el cual se detecta con un importante daño y pérdida en su geometría estructural. 101
Figura 6-12: Inspección televisiva del colector ID COL-043942, el cual se detecta con un importante desgaste y pérdida en su geometría estructural. 103
Figura 6-13: Inspección televisiva del colector ID COL-043939, el cual se detecta con un importante daño estructural. 103

Figura 6-14: Inspección televisiva del colector ID COL-041385, imagen obtenida previo a su renovación en febrero 2026. 104
Figura 6-15: Inspección televisiva del colector ID COL-043760, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base. 106
Figura 6-16: Inspección televisiva del colector ID COL-043546, el cual se detecta con importante daño estructural. 106

Índice de Tablas

Tabla 4-1: Revisión y sistematización de referencias MWM. 23
Tabla 4-2: Review bibliográfico de la tesina. 25
Tabla 5-1: Valores asignados a cada colector, según su rango de edad catastrado en GIS 76
Tabla 5-2: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de obstrucciones registradas 76
Tabla 5-3: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de obstrucciones registradas por fatiga de material. 77
Tabla 5-4: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de afloramientos de aguas servidas registrados. 77
Tabla 5-5: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de mantenciones preventivas y correctivas registradas. 77
Tabla 5-6: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de succiones de cámara registradas. 78
Tabla 5-7: Valores asignados a cada colector, según su materialidad. 78
Tabla 5-8: Valores asignados a cada colector, según su diámetro. 78
Tabla 5-9: Ponderación utilizada para la matriz integrada. 79
Tabla 5-10: Ponderación final, luego del proceso iterativo basada en la observación del personal especialista. 81
Tabla 6-1: Ponderación final, se identifican los ramales con peor desempeño 85
Tabla 6-2: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal RR-051. 87
Tabla 6-3: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal DP-109. 89
Tabla 6-4: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal RR-047. 92
Tabla 6-5: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal DP-118. 94
Tabla 6-6: Matriz comparativa de los ramales críticos. 95
Tabla 6-7: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel RR-051. 97
Tabla 6-8: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel DP-109. 100
Tabla 6-9: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel RR-047. 102
Tabla 6-10: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel DP-118. 105

1. INTRODUCCIÓN

Las redes de alcantarillado constituyen una infraestructura esencial para el funcionamiento de las ciudades y para la protección de la salud pública. Su adecuada operación permite recolectar y transportar las aguas servidas de manera segura, evitando riesgos sanitarios, impactos ambientales y afectaciones a la calidad de vida de la población. En consecuencia, garantizar la continuidad y confiabilidad de estos sistemas representa una responsabilidad permanente para las empresas sanitarias y los organismos encargados de regular la prestación de estos servicios.

Al igual que ocurre con otras infraestructuras urbanas, las redes de alcantarillado experimentan un proceso natural de envejecimiento y deterioro a lo largo del tiempo. La antigüedad de los materiales, las condiciones del entorno, las cargas operacionales y la postergación de las inversiones de renovación incrementan la probabilidad de fallas estructurales y operacionales. Entre las consecuencias más frecuentes se encuentran las obstrucciones, infiltraciones, colapsos y rebalses de aguas servidas, eventos que no solo generan elevados costos de operación y mantenimiento, sino que también afectan directamente a la comunidad, deterioran la percepción del servicio y comprometen la sostenibilidad de la infraestructura.

Frente a este escenario, la gestión de activos ha adquirido un papel estratégico dentro de la industria sanitaria, al proporcionar metodologías que permiten optimizar la utilización de recursos económicos y técnicos mediante una adecuada priorización de las inversiones. En lugar de responder únicamente a las emergencias, este enfoque promueve la planificación basada en el conocimiento del estado de los activos, la evaluación del riesgo y la proyección de su desempeño durante el ciclo de vida, favoreciendo una gestión más eficiente y sostenible de la infraestructura.

La ciudad de Arica representa un caso particularmente relevante para este tipo de análisis. Una parte importante de su red de colectores urbanos fue construida hace varias décadas y actualmente presenta signos evidentes de envejecimiento, situación que se manifiesta en una elevada frecuencia de obstrucciones, rebalses y reparaciones correctivas. Esta problemática se ve agravada por las características geotécnicas y ambientales propias de la zona, especialmente por la presencia de suelos con alta salinidad, los cuales aceleran el deterioro de materiales tradicionales como el cemento comprimido y reducen la vida útil de la infraestructura.

Desde una perspectiva profesional, esta realidad evidencia la necesidad de evolucionar desde un modelo de gestión predominantemente reactivo hacia un enfoque preventivo y predictivo, donde las decisiones de inversión se fundamenten en información objetiva y en criterios técnicos de priorización. En este contexto, la gestión patrimonial de redes sanitarias deja de centrarse únicamente en la reparación de fallas para orientarse hacia la anticipación del deterioro, la

optimización del gasto de capital (CAPEX) y la mejora continua de la continuidad operacional del servicio.

En respuesta a esta problemática, la presente investigación desarrolla y valida una metodología de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de activos en redes de alcantarillado urbano. El objetivo general consiste en desarrollar un modelo que integre información estructural, operacional y económica con el propósito de identificar los sectores de mayor criticidad, priorizar las intervenciones de renovación y rehabilitación, y optimizar la asignación de los recursos destinados a infraestructura sanitaria en la ciudad de Arica.

Para ello, la investigación integra diversas fuentes de información disponibles en la empresa sanitaria, entre ellas el Sistema de Información Geográfica (GIS), registros históricos de fallas, bases de datos operacionales, antecedentes de mantenimiento, inspecciones mediante circuito cerrado de televisión (CCTV) y catastros de infraestructura. La incorporación de estos antecedentes permite construir una metodología multicriterio capaz de evaluar simultáneamente las características físicas de la red, su comportamiento operacional y las consecuencias asociadas a una eventual falla, proporcionando una herramienta objetiva para apoyar la planificación de inversiones.

Como parte del proceso de validación, el estudio incorpora además tecnologías modernas de diagnóstico y rehabilitación de infraestructura sanitaria. La utilización de inspecciones televisivas bajo estándares internacionales (NASSCO/PACP) permite verificar en terreno la condición estructural real de los colectores priorizados por el modelo de criticidad, mientras que el análisis de tecnologías sin zanja (Trenchless Technologies), particularmente la rehabilitación mediante manga curada in situ (CIPP), permite evaluar alternativas de intervención que reducen significativamente los costos de construcción, el impacto urbano y los tiempos de ejecución respecto de los métodos tradicionales de zanja abierta.

El desarrollo de esta investigación busca demostrar que la integración de herramientas de gestión de activos, análisis multicriterio, inspección de precisión y evaluación económica constituye una estrategia eficaz para mejorar la planificación de inversiones en infraestructura sanitaria. Más allá de identificar los sectores con mayor riesgo, la metodología propuesta permite seleccionar la alternativa técnica más conveniente para cada activo, contribuyendo a optimizar el uso del CAPEX (Capital Expenditure *o* gasto de capital), aumentar la confiabilidad operacional de la red y fortalecer la sostenibilidad del servicio sanitario.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, el documento se organiza en diez capítulos. El Capítulo 2 presenta el planteamiento del problema y la justificación de la investigación. El Capítulo 3 desarrolla los objetivos tanto general como los específicos que orientan el estudio. El Capítulo 4 expone el marco teórico y el estado del arte relacionado con la gestión de activos, el análisis de criticidad y las tecnologías de rehabilitación de redes de alcantarillado. El Capítulo 5 describe la

metodología empleada para el desarrollo del modelo propuesto, mientras que el Capítulo 6 la aplicación sobre la red de alcantarillado de la ciudad de Arica y la validación mediante inspecciones CCTV. El Capítulo 7 desarrolla el análisis económico del modelo, comparando distintas alternativas de intervención y evaluando su impacto sobre el gasto de capital. Finalmente, los Capítulos 8, 9 y 10 presentan los resultados globales obtenidos, las conclusiones derivadas de la investigación y las recomendaciones para la implementación de la metodología y el desarrollo de futuras líneas de trabajo.

En definitiva, esta investigación pretende aportar una metodología práctica para fortalecer la gestión patrimonial de redes de alcantarillado, integrando criterios técnicos, operacionales y económicos dentro del proceso de toma de decisiones. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan no solo a optimizar la planificación de inversiones de Aguas del Altiplano, sino también a servir como referencia para otras empresas sanitarias que enfrentan desafíos similares asociados al envejecimiento de su infraestructura y a la necesidad de avanzar hacia una gestión de activos basada en el riesgo.

2. ORIGEN, PROPÓSITO Y ALCANCES DEL ESTUDIO

En este capítulo se exponen los fundamentos, objetivos estratégicos y alcances de la investigación. El estudio se centra en la evaluación de las redes de recolección de aguas servidas de la ciudad de Arica, las que son operadas por la empresa sanitaria concesionada; para ello, se integran variables de estructurales y físicas, con registros de su desempeño operacional.

2.1. Origen y propósito del estudio

En el sector sanitario chileno, el marco normativo vigente establece que las empresas prestadoras deben asegurar la continuidad y la calidad en la prestación de los servicios sanitarios, conforme a lo dispuesto en el DFL MOP N°382 (1988). No obstante, al analizar el funcionamiento del sistema de recolección de aguas servidas, se identifican diversos factores que evidencian riesgos potenciales para el cumplimiento de dichos principios, particularmente en lo relacionado con la ocurrencia de rebases de aguas servidas y otras fallas operacionales que pueden afectar a los usuarios.

Uno de los indicadores relevantes para evaluar el desempeño de las empresas sanitarias corresponde al Estudio de Percepción de Usuarios, instrumento que permite conocer la valoración del servicio por parte de los clientes. Según los resultados publicados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS, 2022), el servicio de recolección de aguas servidas se posiciona entre los de menor evaluación dentro del conjunto de prestaciones sanitarias. A esta situación se suma el bajo nivel de renovación de las redes de alcantarillado que realizan las empresas del sector. De acuerdo con el Informe de Gestión de la SISS (2022), la tasa de reposición de las redes de recolección durante el año 2022 alcanzó solo un 0,22 % anual, valor que se ha mantenido relativamente constante durante la última década. Este reducido ritmo de renovación constituye un factor que incide directamente en la confiabilidad operativa de la infraestructura y, en consecuencia, en la continuidad y calidad del servicio.

Desde el punto de vista regulatorio, la normativa sanitaria vigente no establece obligaciones explícitas respecto de porcentajes mínimos de renovación de infraestructura asociados a variables como la antigüedad de las redes, el material de fabricación o su condición estructural. En este contexto, la Superintendencia de Servicios Sanitarios cuenta principalmente con mecanismos sancionatorios, como la aplicación de multas por discontinuidades del servicio, conforme a la Ley N°18.902 (1990), como instrumento para incentivar mejoras en la gestión de las empresas sanitarias. De manera complementaria, el organismo regulador puede emitir directrices o instrucciones técnicas basadas en estándares internacionales, orientadas a promover prácticas de gestión más eficientes, tales como estrategias de mantenimiento preventivo o predictivo.

En este escenario, surge la necesidad de fortalecer las herramientas de gestión aplicadas a las redes de alcantarillado sanitario. En particular, se propone desarrollar una metodología que permita evaluar de manera sistemática el estado de la infraestructura existente, incorporando información tanto de las características físicas de la red como de su comportamiento operacional. Dentro de las fuentes de información disponibles destacan las inspecciones televisivas realizadas por las empresas sanitarias bajo la metodología NASSCO, cuyo uso ha sido formalmente reconocido por la autoridad reguladora mediante la Resolución SISS N°553 (2024). La integración de estos antecedentes permitiría avanzar hacia un enfoque de mantenimiento predictivo, orientado a anticipar fallas potenciales y a optimizar la planificación de intervenciones en la red.

2.2. Alcance del estudio

El presente estudio tiene como propósito contribuir al desarrollo de lineamientos técnicos para el sector sanitario en materia de gestión de redes de recolección de aguas servidas. En particular, se busca establecer orientaciones metodológicas que puedan ser implementadas en un horizonte inicial de un año, junto con proponer una planificación estratégica para etapas posteriores.

Para alcanzar este objetivo, se plantea diseñar una metodología que permita diagnosticar el estado de la infraestructura de alcantarillado de las empresas sanitarias, con el fin de identificar acciones que contribuyan a resguardar la continuidad del servicio de recolección. Dicho enfoque considera la utilización de herramientas analíticas que integren información proveniente de inspecciones televisivas de redes, las cuales constituyen una fuente relevante para evaluar tanto las condiciones estructurales como operacionales de los colectores.

En este contexto, las inspecciones televisivas se proponen como una variable clave para estimar la probabilidad de ocurrencia de fallas en la infraestructura existente. A partir de esta información, sería posible definir estrategias de intervención que incluyan planes de mantenimiento, rehabilitación o renovación de los tramos de red más vulnerables. Este enfoque cobra especial relevancia considerando el bajo nivel de reposición actualmente observado en el sector, cercano a valores mínimos, lo que hace necesario incorporar herramientas que permitan optimizar la gestión de los activos existentes mediante un enfoque predictivo.

Asimismo, debido a que los procesos de inspección televisiva implican costos operacionales y demandan tiempo, las metodologías propuestas buscan priorizar aquellos sectores de la red con mayor probabilidad de presentar fallas. Alcanzar la inspección del 100 % de la infraestructura podría requerir largos períodos de tiempo, incluso décadas, por lo que resulta fundamental establecer criterios que permitan focalizar los esfuerzos de diagnóstico en los tramos más críticos.

Como caso de estudio, se considerará la recopilación y análisis de información de inspección televisiva obtenida bajo el estándar metodológico NASSCO (2020) en la ciudad de Arica. En esta localidad, los tramos a inspeccionar fueron seleccionados mediante procedimientos estadísticos, lo que permite disponer de una muestra representativa de la red. A partir de estos antecedentes, junto con la información topológica disponible en la Superintendencia de Servicios Sanitarios, se desarrollará un análisis orientado a estimar la probabilidad de falla de los colectores urbanos. Posteriormente, se evaluará la factibilidad de aplicar esta metodología en otras localidades que dispongan de información equivalente.

3. OBJETIVOS

En este capítulo se define el objetivo general y varios objetivos específicos, que se vinculan a las distintas fases metodológicas para el desarrollo del estudio, los que se elaboraron de acuerdo con las indicaciones y estructura planteada en la asignatura MWM 900 – Tesina. A continuación, los objetivos del estudio.

3.1. Objetivo General

Evaluar el modelo de gestión para la renovación y/o rehabilitación de los colectores urbanos, en la ciudad de Arica, realizando un análisis crítico al actual sistema de información aplicado a la red y proponiendo un modelo. Con el propósito de optimizar la inversión y el uso de nuevas tecnologías.

3.2. Objetivos específicos

1. Conocer los documentos escritos de los diferentes sistemas del estado actual de la red de colectores urbanos
2. Asociar los conocimientos adquiridos durante las clases del magister en gestión del agua aplicado a optimizar la red de colectores.
3. Describir el sistema el sistema de información actualmente utilizado para la gestión de la red de colectores, refiriéndose especialmente a su nivel de confiabilidad, actualización y utilidad para la toma de decisiones.
4. Plantear el marco teórico fundamentándose en los objetivos específicos 1, 2 y 3.
5. Establecer una base de datos para caracterizar la infraestructura existente de la red de colectores urbanos de Arica, considerando antigüedad, materiales, diámetros, ubicación y condiciones estructurales
6. Construir inventario del historial de fallas y emergencias sanitarias registradas en la red de colectores
7. Definir herramientas tecnológicas y metodológicas (KPI’s) modernas aplicadas a la gestión, inspección y rehabilitación de redes de alcantarillado, definiendo el posible modelo a utilizar.
8. Aplicar el modelo de gestión a los indicadores de desempeño, utilizando la herramienta definida sobre los datos analizados, para la gestión de la red de colectores, que permitan evaluar su funcionamiento y apoyar la toma de decisiones
9. Analizar el impacto de las fallas en la red de colectores sobre la continuidad del servicio sanitario y la percepción de los usuarios
10. Calcular los grados de vulnerabilidad de los colectores urbanos frente a factores externos como antigüedad, cargas hidráulicas, infiltración de aguas subterráneas y condiciones del suelo.

11. Establecer el potencial de optimización de las inversiones en la red de colectores urbanos mediante la aplicación del modelo de gestión desarrollado, considerando criterios técnicos, operacionales y de continuidad del servicio sanitario.
12. Determinar la pertinencia de rehabilitación o renovación de acuerdo a las valoraciones previamente establecidas.
13. Determinar la construcción de un modelo que reemplace las actuales prácticas de decisión para la planificación de inversiones en renovación y rehabilitación de colectores urbanos.
14. Establecer un ranking de criterios de priorización para la inversión en la renovación y rehabilitación de colectores, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y la continuidad del servicio sanitario.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. Antecedentes del Estado del Arte.

En este capítulo se desarrolla la revisión de antecedentes correspondiente al estado del arte. En esta etapa se sistematiza la información proveniente de distintas fuentes, tales como bibliografía especializada, recursos web y material académico desarrollado en las diferentes asignaturas del programa de Magíster en Gestión del Agua (MWM)**.** Asimismo, se incorporan los resultados obtenidos a partir del levantamiento de opiniones técnicas de actores relevantes, junto con un análisis crítico del estado actual del conocimiento, la descripción del sujeto de estudio y el desarrollo del marco teórico que sustenta la investigación.

En los apartados siguientes se presenta la revisión bibliográfica y webgráfica de forma sintetizada, organizada según su nivel de relevancia, distinguiendo entre lecturas fundamentales, específicas y complementarias. En el Anexo 3, el detalle que incluye las fichas bibliográficas y webgráficas utilizadas en el proceso de revisión, así como las fichas correspondientes a las referencias provenientes del MWM y una planilla que sintetiza las palabras clave y conceptos relevantes identificados durante el análisis.

Por otra parte, esta sección también incorpora la información recopilada y analizada a partir de entrevistas y encuestas realizadas a actores relevantes vinculados al objeto de estudio. Estas instancias permitieron complementar la revisión teórica con una perspectiva técnica y práctica sobre la problemática analizada.

4.1.1. Aporte de las asignaturas

El proceso formativo del postgrado Master of Water Management (MWM) actuó como un motor fundamental para el desarrollo de esta tesina de grado. Transformó una investigación puramente de ingeniería en un proyecto robusto, estratégico, con aplicación directa en el mundo real y con la mirada sistémica que se nos inculcó permanentemente. A lo largo del magister, las clases no se tomaron como materias separadas, sino como un conjunto de herramientas unidas. Este aprendizaje entregó los conceptos teóricos, las formas de analizar datos y la visión de negocios que se necesitaban para enfrentar los problemas actuales en la gestión del agua, desde la mirada estatal y de las empresas sanitarias.

En primer lugar, las diferentes clases entregaron una base sólida para entender el entorno político, social y económico donde se mueve el sector del agua. Las clases enseñaron a mirar el agua no solo como un elemento de la naturaleza, sino como un recurso que escasea, que está muy regulado por la ley y que sufre los golpes del cambio climático. Con estos conocimientos, en la investigación pude armar un diagnóstico profundo sobre la realidad del país, justificando por qué es urgente buscar soluciones que usen el agua de forma eficiente y por qué se deben explorar nuevas fuentes como la desalación de agua de mar. Además, gracias a las herramientas para estudiar a los grupos de interés o actores clave, la tesis pudo

entender cómo se cruzan las distintas prioridades de la sociedad y del gobierno. Se pudo evaluar cómo la falta de acuerdos entre las instituciones afecta el día a día de las operaciones hídricas, logrando que las propuestas de este trabajo tengan un sentido social y político real.

En segundo lugar, la formación comercial y de administración fue clave para que las ideas de la tesis fueran viables en la práctica. Muchas veces, los proyectos técnicos fallan porque no se adaptan al negocio de las empresas. Para evitar esto, los módulos enseñaron a usar herramientas de diagnóstico de empresas, como el análisis de fortalezas y debilidades, y el estudio de la competencia en el mercado. Esto ayudó a ubicar la propuesta de la tesis dentro de la realidad que viven hoy las compañías sanitarias. Así, los objetivos técnicos se alinearon con los planes de negocio a largo plazo que tienen los servicios básicos. También se sumaron guías de planificación de nivel internacional y formas de manejar los conflictos, lo que ayudó a que la tesis incluyera el cumplimiento de las normas de la ley y bajara los riesgos tanto para la empresa como para los ciudadanos.

En tercer lugar, el bloque dedicado a la operación técnica y a la ingeniería de redes entregó los métodos exactos para hacer el trabajo de campo de esta investigación. Las clases enseñaron a unir los planes de los jefes con las tareas diarias de los trabajadores en las plantas y redes. Aquí se aprendieron los criterios para cuidar la infraestructura pensando en todo su ciclo de vida útil. La tesis se enriqueció mucho con el uso de sistemas modernos para estudiar mapas digitales y redes de agua en las ciudades, así como con fórmulas que ayudan a saber cuándo se podrían romper las tuberías viejas. Todos estos métodos sirvieron para revisar a fondo el estado de las redes que se estudiaron en este trabajo. Del mismo modo, el aprendizaje sobre el control de calidad ayudó a buscar la mejora continua en los procesos de la tesis, mientras que las clases de aguas residuales y pluviales ayudaron a proponer soluciones seguras contra inundaciones urbanas, siempre con una mirada puesta en cuidar la naturaleza y reutilizar el agua.

Por último, las clases abrieron las puertas a la innovación tecnológica y a la forma de financiar los cambios en la industria. El aprendizaje impulsó la idea de usar tecnología del futuro para resolver los problemas de siempre en el mundo del agua. Se estudió cómo los sensores que leen datos a distancia pueden avisar al instante si una tubería se tapa, y cómo la inteligencia artificial ayuda a predecir desastres por lluvias o problemas en el alcantarillado. Pero como la tecnología necesita dinero, la formación entregó el método de análisis de costos y beneficios. Con esta herramienta matemática y económica, se pudo calcular de forma exacta si los proyectos de innovación propuestos eran convenientes. Así se demostró que hacer estos cambios tecnológicos no solo ahorra dinero a las empresas, sino que también trae un gran beneficio para toda la sociedad.

En conclusión, el paso por el magister entregó las palabras técnicas, la forma de pensar de manera crítica y las fórmulas necesarias para armar esta investigación. El aporte de las clases hizo posible que esta tesis no se quedara en teorías de papel. Por el contrario, permitió diseñar soluciones reales que unen la ciencia de la

ingeniería con el cuidado del medio ambiente, las leyes del gobierno, el bienestar de la comunidad y el éxito financiero de las empresas.

A continuación, la Tabla 4-1 sintetiza las referencias bibliográficas y contenidos académicos utilizados en la investigación. Para facilitar su trazabilidad, se organizan según su relevancia: fundamentales, específicas y complementarias, identificando su aporte al desarrollo del estudio.

Tabla 4-1: Revisión y sistematización de referencias MWM.

N°	CITA	DESCRIPTOR
LECTURAS FUNDAMENTALES		
51	Patricio Rubio Romero, 2025	MWM 500 – Gobernanza y economía del agua.
		Gobernanza y economía del agua.
52	Alberto Kresse Zamorano, 2024	MWM 510 – Planificación y dirección estratégica.
		Planificación en la industria sanitaria.
54	Pedro Peña Carter, 2025	MWM 530 – Sistemas de gestión.
		Decisiones estratégicas, tácticas y operacionales + estrategia de operaciones en un entorno global.
53	Oscar Viera, 2025	Gestión de activos en la industria sanitaria.
LECTURAS ESPECÍFICAS		
25	Francisco Ottone, 2025	MWM 400 – Gestión de redes.
		Lectura apoyo: Evaluación de un estudio piloto de rehabilitación CIPP.
26		Lectura apoyo: Revisión de la gestión de redes de agua urbanas mediante GIS.
24		Lectura apoyo: Método que utiliza características geométricas de imágenes para tuberías de alcantarillado.
55	Alberto Kresse Zamorano, 2024	MWM 120 – Gestión y captación y tratamiento de agua. Desalación en Chile: Evolución, desafíos y oportunidades.
30	Cristian Carvallo, 2025	MWM 130 – Eficiencia Hídrica Herramientas básicas de calidad en el proceso de mejora continua.
31	Patricio Catalán, 2025	MWM 140 – Riesgo y conflicto en la gestión de los recursos.

		L3-Cumplimiento de múltiples mandatos de las empresas de servicios de aguas.
33	Alejandro Palma, 2025	MWM 540 – Gestión de clientes. Lectura de apoyo- Directrices de planificación estratégica para el suministro de agua y alcantarillado en Nueva Gales del Sur.
41	Teresita Reyes, 2025	MWM 550 – Innovación y gestión de proyectos Lectura de apoyo- Análisis costo-beneficio.
LECTURAS COMPLEMENTARIAS		
21	Jacobo Homsi Auchen, 2024	MWM 410 – Gestión de la depuración y reutilización. L1- Marco de evaluación de riesgos y sostenibilidad para la toma de decisiones
37	Francisco Javier Martín-Vide, 2024	MWM 100 – Gestión y planificación de los recursos hídricos. L02: Gobernanza del agua en Chile, disponibilidad, gestión y cambio climático.
28	Francisco Ottone, 2025	MWM 400 – Gestión de redes. Lectura de apoyo-Detección en tiempo real de los niveles de aguas residuales y obstrucciones mediante UHF-RFID. Lectura de apoyo- Análisis sistemáticos y cienciométricos de predictores para modelas el deterioro de las tuberías de agua.
24	Patricio Rubio Romero, 2025	MWM 500 – Gobernanza y economía del agua. Lectura apoyo- Compromiso Stakeholders
40	Lionel Valenzuela Oyaneder, 2024	MWM 510 – Planificación y dirección estratégica. Lectura apoyo-metodologías para el análisis FODA.
39	Lionel Valenzuela Oyaneder, 2024	MWM 510 – Planificación y dirección estratégica. Lectura apoyo-las 5 fuerzas de PORTER.
46	Hugo Castro Moreno, 2025	MWM 500 – Gobernanza y economía del agua. L3-Gobernanza hacia la coordinación.
47	Milo Millan Romero, 2025	MWM 420-Gestion del sistema pluvial. Lectura apoyo-La inteligencia artificial incorporó predicciones para los procesos de inundación urbana en los últimos 20 años.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-2: Review bibliográfico de la tesina.

LECTURAS FUNDAMENTALES		
44	Montero, F. G. (2023)	Diseña una metodología de gestión eficiente para Arica usando ramales e indicadores de tasa de obstrucción.
45	Pérez & Perdomo (2011)	Evalúa herramientas de decisión (CARE-S, Hydroplan) para la gestión patrimonial de alcantarillado.
48	Caradot et al. (2018)	Realiza un benchmarking de modelos estadísticos y de machine learning para predecir la condición de colectores.
51	Rubio P. 2025	MWM 500 – Gobernanza y economía del agua. Gobernanza y economía del agua.
52	Kresse A. 2024	MWM 510 – Planificación y dirección estratégica. Planificación en la industria sanitaria.
53	Carter Peña, P. 2025	MWM 530 – Sistemas de gestión. Decisiones estratégicas, tácticas y operacionales + estrategia de operaciones en un entorno global.
54	Viera O. 2025	MWM 530 – Sistemas de gestión. Gestión de activos en la industria sanitaria.
LECTURAS ESPECÍFICAS		
3	JAWWA (2015)	Establece un marco estratégico de gestión de activos integrando los niveles técnico y financiero.
16	Lerer et al. (2022)	Utiliza el análisis multicriterio (MCDA) para la planificación hídrica sostenible.
26	Patel & Nihalani (2023)	Define al SIG (GIS) como motor de integración y análisis espacial para redes urbanas.
27	Halfawy (2013)	Revisa marcos integrados y sistemas de soporte a la decisión (DSS) para la gestión de activos.
29	NEIWPCC / EPA (2003)	Provee lineamientos para optimizar la operación y mantenimiento, promoviendo enfoques preventivos y predictivos en redes.
33	NSW Office of Water (2011)	Define la estructura del Plan de Gestión Total de Activos (TAMP) y Niveles de Servicio.

34	Hussain et al. (2025)	Revisa la aplicación de Machine Learning en la predicción de fallas y mantenimiento predictivo.
41	Arrojo Agudo et al. (2004)	Discute el análisis coste-beneficio y la necesidad de evaluaciones multicriterio en proyectos hídricos.
43	Baur & Herz (2002)	Introduce la planificación selectiva de inspecciones basada en modelos de envejecimiento.
49	AWWA (2012)	Analiza el desafío del envejecimiento de la infraestructura hídrica y las necesidades de inversión masiva ("Buried No Longer").
50	IbSTT (2018)	Define las Tecnologías Sin Zanja (TSZ) para la rehabilitación e inspección de tuberías con bajo impacto ambiental y urbano.
55	Kresse,A. 2024	MWM 120, Desalación en Chile: Evolución, desafíos y oportunidades.
LECTURAS COMPLEMENTARIAS		
1	Soria, D. & Castilla, H. (2022)	Sustenta la renovación integral de redes basándose en el agotamiento de la vida útil y diagnóstico estructural.
2	Ramos-Salgado et al. (2021)	Presenta un sistema de soporte a la decisión (DSS) para el agrupamiento de tuberías mediante algoritmos.
4	Bakry et al. (2016)	Desarrolla modelos de regresión para evaluar el deterioro en tuberías rehabilitadas con CIPP.
5	Yang et al. (2026)	Evalúa la fiabilidad del servicio basándose en seis dimensiones críticas de falla.
6	Yildizli et al. (2026)	Utiliza aprendizaje semi-supervisado para la clasificación automática de defectos en alcantarillado.
7	Nashat & Zayed (2025)	Propone una revisión híbrida que combina inspección asistida por IA y modelado de deterioro.
8	Karimi et al. (2025)	Evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura ante peligros compuestos (sismos e inundaciones).
9	Roghani et al. (2024)	Analiza el riesgo multidimensional mediante lógica difusa y procesos analíticos jerárquicos (AHP).

10	De Mare et al. (2023)	Desarrolla modelos de regresión (MRA) para la estimación rápida de costos en mantenimiento.
11	Aghdam et al. (2023)	Analiza el impacto sensorial y sanitario causado por desbordamientos de aguas servidas (SSO).
12	Baranov et al. (2021)	Evalúa la confiabilidad mediante el método de "fragmentos tipo Y" en redes ramificadas.
13	Libro Blanco de las Tecnologías Sin Zanja, 2018.	Estimación de costos basada en variables de entorno urbano y técnico.
14	Ruwanpura et al. (2004)	Predicción del deterioro basada en simulación por reglas y lógica estocástica.
15	Ana & Bauwens (2007)	Establece una taxonomía de herramientas DSS en tres grupos funcionales de gestión.
17	BS EN 752-5 (1998)	Norma técnica europea fundamental para la rehabilitación de redes de alcantarillado.
18	Van Vliet & Kok (2021)	Propone la combinación de escenarios prospectivos y backcasting para la gestión hídrica.
19	Matos et al. / IWA (2004)	Define Indicadores de Desempeño (PI) estandarizados internacionalmente para servicios de agua.
20	Anele et al. (2017)	Aplica modelos híbridos para la predicción de demanda a corto plazo en redes urbanas.
21	Vamvakeridou-Lyroudia (2020)	Introduce el marco RSA para evaluar riesgo y sostenibilidad en proyectos de reutilización.
22	Ramos-Salgado et al. (2021)	Propone el agrupamiento espacial mediante Celdas de Voronoi para optimizar el reemplazo.
23	Liu et al. (2018)	Desarrolla un marco de visualización 3D/GIS para la gestión de seguridad en infraestructura.
24	Shaban et al. (2023)	Realiza un análisis cientométrico de predictores para el modelado del deterioro.
25	Allouche et al. (2014)	Valida una vida útil superior a los 50 años para rehabilitaciones con CIPP mediante estudio retrospectivo.
28	Tatiparthi et al. (2025)	Propone el monitoreo en tiempo real de niveles y obstrucciones usando sensores UHF-RFID.
30	Soković et al. (2009)	Establece el marco de mejora continua mediante las 7 herramientas básicas de calidad (7QC).

31	Quitana et al. (2020)	Analiza la resiliencia de la infraestructura crítica ante amenazas y peligros naturales.
32	Makar, J. M. (1999)	Clasifica las técnicas de diagnóstico en inspección interna, estructural y del subsuelo.
35	Canales (2015)	Criterios para la toma de decisiones de inversiones
36	Wirahadikusumah et al. (1998)	Evalúa tecnologías de inspección multisensorial para reducir la subjetividad en el diagnóstico.
37	Valdés-Pineda et al. (2014)	Analiza los desafíos de gobernanza hídrica y cambio climático en el contexto chileno.
38	Krick et al. (2005)	Provee un manual para el compromiso sistemático con los stakeholders y grupos de interés.
39	Porter, Michael E. (2008)	Define las cinco fuerzas competitivas que determinan la estrategia y rentabilidad de un sector.
40	Inst. Politécnico Nacional (2002)	Presenta la metodología para el análisis y diseño de estrategias mediante la matriz FODA.
42	Water New Zealand (2015)	Guías prácticas para el control de infiltraciones y afluencias (I&I) en redes sanitarias.
46	Lukat et al. (2023)	Analiza la acción colectiva para la protección del agua mediante el marco de Sistemas Socio-Ecológicos (SES).
47	Li et al. (2025)	Revisión sistemática de algoritmos de Inteligencia Artificial aplicados a la predicción de inundaciones urbanas.

Fuente: Elaboración propia

Se identificaron cuatro conceptos claves en la revisión: gestión de activos, matriz de criticidad, inspección televisiva y tecnologías sin zanja. Estos conceptos se desarrollaron bajo un análisis de vinculación y contribución de ideas que se resume en la Tabla 4-3 respecto de la gestión de colectores, su renovación, diagnósticos de fallas e ideas específicas.

Tabla 4-3: Cuadros de palabras clave.

Palabra clave: Gestión de activos.

Referencia Bibliográfica	Ideas para la Gestión de Colectores	Ideas para la Renovación de Colectores	Ideas para el Diagnóstico de Fallas	Otras Ideas Rescatables
NSW Office of Water (2011)	Define los Niveles de Servicio (LoS) como eje central de la gestión. El TAMP actúa como vínculo entre la estrategia organizacional y la operación.	Establece la necesidad de planificar y programar inversiones de capital a largo plazo para cerrar brechas de desempeño.		
JAWWA (2015) / AWWA (2012)		Advierte sobre el envejecimiento masivo de la infraestructura (“Buried No Longer”) y la necesidad de inversiones proactivas.	Incorpora la probabilidad de falla como variable clave en la evaluación del riesgo y en la justificación de inversiones.	Destaca la importancia de la gobernanza y la transparencia en el reporte del estado de la infraestructura.
NEIWPCC / EPA (2003)	Promueve la transición desde una gestión reactiva hacia la optimización de la operación y mantenimiento (O&M).		Propone la implementación de mantenimiento predictivo mediante el uso de datos históricos para anticipar fallas.	Enfatiza la optimización de recursos y la reducción de desbordes mediante gestión preventiva.
Montero, F. G. (2023)	Introduce la gestión por ramales y sectores, permitiendo un control geoespacial más detallado mediante GIS en la red de Arica.	Desarrolla un ranking de priorización basado en criticidad, optimizando la asignación de recursos en zonas de mayor riesgo.	Incorpora indicadores como la tasa de obstrucciones y el historial de fallas operacionales para detección temprana.	Aporta la contextualización de la gestión de activos en sistemas separativos y condiciones de clima desértico.

Palabra clave: Matriz de Criticidad

Referencia Bibliográfica	Ideas para la Gestión de Colectores	Ideas para la Renovación de Colectores	Ideas para el Diagnóstico de Fallas	Otras Ideas Rescatables
Montero, F. G. (2023)	Propone una matriz de criticidad que pondera la probabilidad de falla (historial de obstrucciones) y la consecuencia (ubicación y diámetro) para la clasificación de ramales.	Utiliza el ranking de criticidad para priorizar la renovación de colectores, especialmente en zonas sensibles a desbordes.	Establece la tasa de obstrucción como un indicador dinámico que alimenta la matriz, permitiendo identificar puntos críticos de forma anticipada.	Incorpora un enfoque territorial aplicado a Arica, considerando variables como pendiente y material en la vulnerabilidad del sistema.
Baur & Herz (2002)	Introduce la inspección selectiva, donde la matriz de riesgo define qué tuberías deben ser inspeccionadas según su probabilidad de falla.	Define la vida útil económica del activo, sugiriendo la renovación cuando el riesgo de operación supera el costo de reemplazo.	Desarrolla modelos de envejecimiento que permiten estimar la condición estructural sin necesidad de inspeccionar toda la red.	
JAWWA (2015)		Justifica la inversión en renovación a partir del análisis del riesgo residual, priorizando los activos más críticos.	Plantea el diagnóstico como un insumo para validar la probabilidad de falla estimada en los modelos de criticidad.	Introduce el concepto de “activos críticos”, cuya falla resulta inaceptable por su impacto social o ambiental.
Caradot et al. (2018)	Compara modelos estadísticos para la predicción de criticidad, destacando que la integración de múltiples fuentes de datos mejora la precisión.	Señala que la renovación basada en modelos avanzados (incluyendo Machine Learning) reduce errores frente a enfoques basados únicamente en edad.	Utiliza datos históricos de CCTV para calibrar modelos, mejorando la detección de patrones de falla estructural.	Destaca la importancia de la calidad e integración de datos (por ejemplo, GIS) para asegurar resultados confiables.
Roghani et al. (2024)		Establece que la renovación debe considerar riesgos compuestos, tales como eventos sísmicos o hidráulicos extremos.	Desarrolla metodologías para priorizar inspecciones en contextos con datos limitados o de baja calidad.	

Palabra clave: Inspección televisiva

Referencia Bibliográfica	Ideas para la Gestión de Colectores	Ideas para la Renovación de Colectores	Ideas para el Diagnóstico de Fallas	Otras Ideas Rescatables
NASSCO / Resolución SISS N°553 (2024)	Establece el estándar oficial en Chile para la generación de reportes CCTV, asegurando su trazabilidad, auditabilidad y comparabilidad entre distintas cuencas.	Define criterios de decisión basados en puntajes de severidad (1–5) del estándar PACP, que permiten determinar la necesidad de renovación inmediata o diferida.		
Baur & Herz (2002)	Propone el uso estratégico del CCTV mediante muestreo, permitiendo calibrar modelos de envejecimiento sin necesidad de inspeccionar la totalidad de la red.	Permite identificar el momento óptimo de renovación, evitando el reemplazo prematuro de activos con vida útil remanente.	Utiliza datos de inspección para alimentar modelos estadísticos de deterioro, permitiendo estimar el estado de tramos no inspeccionados.	Optimización presupuestaria mediante la focalización de inspecciones en activos con mayor incertidumbre o riesgo.
NEIWPCC / EPA (2003)	Integra el uso de CCTV en programas de operación y mantenimiento (O&M), facilitando la transición desde un enfoque reactivo a uno basado en condición.	Señala que el CCTV es clave para determinar si un colector es apto para rehabilitación o requiere reemplazo mediante zanja abierta.		Utiliza el CCTV como herramienta de control de calidad en obras nuevas y reparaciones.
IbSTT (2018)	Define el CCTV como etapa previa obligatoria en proyectos de tecnologías sin zanja (trenchless).	Permite evaluar la factibilidad de soluciones como CIPP, considerando variables como diámetro y alineación interna.	Facilita la identificación precisa de fallas puntuales que pueden ser abordadas mediante soluciones localizadas (part-liners).	Destaca la importancia de los registros digitales como respaldo técnico para garantías y seguros.
Montero, F. G. (2023)	Utiliza el CCTV para validar en terreno los ramales priorizados por la matriz de criticidad en la red de Arica.	Permite priorizar la renovación en sectores donde el historial de obstrucciones coincide con defectos estructurales observados en inspección.	Correlaciona el tipo de obstrucción con el estado físico de la tubería, permitiendo ajustar estrategias de mantenimiento.	Emplea el CCTV para documentar la efectividad de las campañas de desobstrucción.

Palabra clave: Tecnologías Sin Zanja

Referencia Bibliográfica	Ideas para la Gestión de Colectores	Ideas para la Renovación de Colectores	Ideas para el Diagnóstico de Fallas	Otras Ideas Rescatables
IbSTT (2018)	Define las tecnologías sin zanja (TSZ) como un conjunto de métodos que minimizan la excavación, optimizando tiempos de ejecución y extendiendo la vida útil de la red.	Clasifica técnicas como CIPP (rehabilitación estructural) y *pipe bursting* (sustitución), permitiendo incluso aumentos de diámetro sin excavación abierta.	Establece que la selección de la técnica depende de una inspección previa que verifique la alineación y geometría del conducto.	
NEIWPCC / EPA (2003)	Promueve el uso de métodos no invasivos para reducir impactos sociales, tales como congestión vial, ruido e interferencias en la actividad urbana.	Plantea la rehabilitación como estrategia para evitar que deterioros incipientes evolucionen hacia fallas estructurales mayores.		Indica que algunas técnicas, como CIPP, mejoran la capacidad hidráulica al reducir la rugosidad interna y eliminar juntas.
Bakry et al. (2016)	Incorpora modelos de regresión para evaluar el desempeño de tuberías rehabilitadas con CIPP a lo largo del tiempo.		Utiliza monitoreo post-intervención para verificar el cumplimiento de los estándares estructurales definidos.	Evidencia que una rehabilitación adecuada puede extender la vida útil del activo en más de 50 años.
Montero, F. G. (2023)	Integra las tecnologías sin zanja dentro de la matriz de criticidad aplicada a la red de Arica, priorizando su uso en sectores críticos con alta restricción operativa.	Define umbrales de intervención donde soluciones sin zanja resultan más eficientes para activos con alta criticidad y estabilidad estructural.	Relaciona defectos identificados mediante CCTV con la factibilidad técnica de aplicación de soluciones como CIPP.	Destaca la optimización de costos al considerar la reducción en reposición de pavimentos y tiempos de intervención.
NSW Office of Water (2011)	Vincula la selección de tecnologías sin zanja con el cumplimiento de los Niveles de Servicio (LoS), especialmente en términos de continuidad operacional.	Incorpora estas tecnologías en la planificación de inversiones de capital, favoreciendo una ejecución más eficiente.	Recomienda la evaluación de la condición del activo antes y después de la intervención para validar el cumplimiento de estándares.	

Fuente: Elaboración propia.

4.2. PANEL DE EXPERTOS

En esta sección se presenta la opinión de expertos nacionales en relación con el tema de estudio. El objetivo es recoger, a partir de su experiencia profesional, antecedentes y perspectivas vinculadas a la gestión de activos y a las técnicas de renovación con y sin zanja aplicadas en el sector sanitario. Este enfoque resulta especialmente relevante considerando que las intervenciones en redes de alcantarillado corresponden a obras de infraestructura que implican altos niveles de inversión, y que en muchos casos se trata de sistemas que han alcanzado o están próximos a alcanzar el final de su vida útil.

Las opiniones recogidas son de personas que trabajan directamente con esta problemática en Arica, y esto permite complementar el análisis teórico con una visión práctica sobre los desafíos actuales asociados a la gestión, mantenimiento y rehabilitación de redes sanitarias. En particular, se busca identificar criterios técnicos, experiencias y recomendaciones que puedan contribuir al desarrollo del modelo de gestión propuesto en este estudio.

Los expertos considerados para este análisis son los siguientes:

- Gonzalo Gil Gutiérrez, Gerente de Clientes, Aguas del Altiplano
- Claudia Rojas Muñoz, Gerenta Zonal Arica, Aguas del Altiplano
- Francisco Montero Lillo, Jefe de Unidad de Redes Alto Hospicio
- Nicolas González Cerezo, Jefe de Unidad de Gestión Autónoma (equipos de mantenimiento de alcantarillado).
- Raúl Ossandon Casanova, Inspector de redes de aguas servidas Arica.

A continuación, se presenta un extracto de la respuesta seleccionada para cada pregunta realizada al panel de expertos en el área.

Set de preguntas a expertos

1) **¿Cuáles considera que son actualmente los principales factores que afectan la continuidad operacional y el desempeño de las redes de alcantarillado urbano?**

   Los principales factores que afectan la continuidad operacional de las redes de alcantarillado corresponden al envejecimiento de la infraestructura, la degradación de los materiales y el mal uso de la red de alcantarillado.

   Una parte importante de las redes instaladas hace varias décadas ha alcanzado o superado su vida útil de diseño, incrementando la probabilidad de fallas estructurales y colapsos.

En el caso de Arica, este fenómeno se ve agravado por la presencia de tuberías de cemento comprimido expuestas a condiciones ambientales y de suelo que aceleran su deterioro. A ello se suman problemas operacionales asociados a la acumulación de grasas, sedimentos, raíces y residuos sólidos, los cuales generan obstrucciones recurrentes y reducen la capacidad hidráulica de los colectores.

Adicionalmente, la frecuencia creciente de mantenciones correctivas y trabajos de contingencia constituye un indicador de sectores donde la infraestructura presenta niveles de deterioro que exceden la capacidad de respuesta del mantenimiento convencional. Estos factores combinados impactan directamente la continuidad del servicio, los costos operacionales y la satisfacción de los usuarios.

2) **¿Qué variables técnicas y operacionales considera más relevantes para priorizar la renovación o rehabilitación de colectores sanitarios?**

La priorización de inversiones debe considerar tanto variables estructurales como operacionales. Entre las variables más relevantes destacan la tasa de obstrucciones, el historial de fallas estructurales, la ocurrencia de afloramientos de aguas servidas, la antigüedad de las tuberías, su materialidad y el diámetro del colector.

La frecuencia de intervenciones correctivas también constituye un indicador relevante, ya que refleja el nivel de esfuerzo operacional requerido para mantener un tramo en funcionamiento. Colectores que demandan limpiezas recurrentes, succiones de emergencia o atención constante suelen presentar una condición funcional deficiente, aun cuando no hayan colapsado estructuralmente.

Asimismo, resulta fundamental incorporar variables relacionadas con las consecuencias de una eventual falla, tales como la ubicación bajo vías estructurantes, cercanía a establecimientos críticos o densidad de usuarios afectados. La combinación de estas variables permite desarrollar modelos de criticidad capaces de orientar de manera objetiva la asignación de recursos.

3) **¿Cómo evalúa la utilidad de herramientas como GIS, inspecciones CCTV y registros históricos de fallas para la toma de decisiones en la gestión de redes de alcantarillado?**

Estas herramientas constituyen la base de cualquier sistema moderno de gestión de activos. El GIS permite disponer de un inventario georreferenciado de la infraestructura, integrando atributos físicos como materialidad, diámetro, antigüedad y ubicación espacial. Además, proporciona el identificador único que permite relacionar la información proveniente de distintas plataformas.

Las inspecciones televisivas mediante CCTV aportan información directa sobre la condición interna de los colectores, permitiendo identificar defectos estructurales y operacionales que no son visibles desde la superficie. Su utilización bajo estándares reconocidos, como PACP, contribuye a reducir la subjetividad en los diagnósticos y facilita la comparación de resultados en el tiempo.

4) **¿Cuál es su opinión respecto al uso de matrices de criticidad y modelos predictivos para anticipar fallas y optimizar inversiones en infraestructura sanitaria?**

Las matrices de criticidad y los modelos predictivos constituyen herramientas altamente valiosas para apoyar la toma de decisiones en infraestructura sanitaria. Su principal aporte consiste en permitir la transición desde esquemas reactivos de mantenimiento hacia estrategias preventivas y predictivas basadas en riesgo.

Al integrar variables relacionadas con la probabilidad y consecuencia de falla, estos modelos permiten identificar los activos más vulnerables y priorizar intervenciones donde generan un mayor beneficio técnico, económico y social. Esto contribuye a optimizar el gasto de capital, reducir emergencias y mejorar la continuidad del servicio.

Sin embargo, la calidad de los resultados depende directamente de la calidad de la información utilizada. Modelos construidos sobre bases de datos incompletas, desactualizadas o inconsistentes pueden conducir a decisiones erróneas. Por esta razón, la validación y calibración periódica de los modelos resulta fundamental para asegurar su utilidad operativa.

5) **¿Qué ventajas y limitaciones observa en la aplicación de tecnologías sin zanja (Trenchless Technologies) frente al método tradicional de zanja abierta?**

Las tecnologías sin zanja ofrecen importantes ventajas respecto a los métodos tradicionales. Entre las principales destacan la reducción de los tiempos de ejecución, la disminución de los impactos sobre el tránsito vehicular y peatonal, la menor afectación a la actividad comercial y la reducción de la generación de escombros y residuos de construcción.

Técnicas como el Cured-In-Place Pipe (CIPP) permiten rehabilitar colectores existentes sin necesidad de excavaciones extensivas, prolongando significativamente su vida útil y mejorando su comportamiento hidráulico. Estas características convierten a las tecnologías sin zanja en alternativas particularmente atractivas para zonas urbanas consolidadas.

No obstante, su aplicación presenta limitaciones. Requieren diagnósticos previos de alta calidad mediante CCTV y condiciones geométricas mínimas que permitan la instalación adecuada de los sistemas de rehabilitación. Colectores con colapsos severos, deformaciones importantes o pérdida significativa de sección pueden requerir necesariamente soluciones mediante zanja abierta. Además, la disponibilidad de empresas especializadas y los costos iniciales pueden limitar su implementación en determinados contextos.

6) **Considerando las condiciones de Arica, especialmente la antigüedad de la red, la presencia de tuberías de cemento comprimido y los terrenos salinos, ¿qué riesgos o desafíos técnicos identifica para la gestión futura del sistema?**

Uno de los principales desafíos corresponde al envejecimiento progresivo de una parte significativa de la infraestructura, particularmente de los colectores construidos en cemento comprimido. Muchos de estos activos han alcanzado o superado su vida útil teórica, aumentando la probabilidad de fallas estructurales y discontinuidades del servicio.

Las condiciones ambientales y geotécnicas propias de Arica, incluyendo la presencia de suelos salinos y ambientes agresivos, pueden acelerar los procesos de deterioro y fragilización de los materiales.

Adicionalmente, la magnitud de la infraestructura susceptible de renovación representa un desafío financiero relevante. La imposibilidad práctica de reemplazar simultáneamente todos los activos envejecidos obliga a desarrollar mecanismos objetivos de priorización que permitan focalizar los recursos disponibles en aquellos sectores con mayor nivel de riesgo.

7) **¿Qué recomendaciones estratégicas propondría para mejorar la planificación de inversiones y la gestión sostenible de la red de colectores urbanos de Arica?**

La primera recomendación consiste en consolidar una gestión de activos basada en condición y riesgo, integrando en una única plataforma la información proveniente los distintos sistemas de captura de datos en terreno. La disponibilidad de información integrada y trazable es un requisito fundamental para la toma de decisiones estratégicas.

En segundo lugar, resulta recomendable estructurar la planificación de intervenciones mediante unidades sectorizadas de gestión, permitiendo aprovechar economías de escala, optimizar los recursos destinados a pavimentación y reducir los impactos asociados a las obras sobre la comunidad.

Finalmente, se recomienda utilizar modelos de criticidad para focalizar las campañas de inspección, mantenimiento y renovación en aquellos sectores con mayor probabilidad y consecuencia de falla. Este enfoque permite maximizar el beneficio de las inversiones, mejorar la continuidad del servicio y avanzar hacia una gestión más eficiente y sostenible de la infraestructura sanitaria.

A modo de conclusión, las opiniones recopiladas mediante el panel de expertos permitieron complementar el análisis técnico desarrollado durante la investigación, aportando una visión práctica respecto a las problemáticas operacionales y estratégicas asociadas a la gestión de redes de alcantarillado urbano.

Los especialistas consultados coincidieron en que el principal desafío que actualmente enfrenta la red de colectores de la ciudad de Arica corresponde al envejecimiento progresivo de la infraestructura sanitaria y a la insuficiente renovación de colectores desarrollada históricamente.

Asimismo, los expertos señalaron que las condiciones ambientales propias de la ciudad, especialmente la salinidad del suelo y las condiciones geotécnicas existentes, generan un aceleramiento de los procesos de deterioro estructural, particularmente en tuberías de cemento comprimido.

Otro aspecto destacado corresponde a la necesidad de fortalecer la gestión de activos dentro de la empresa sanitaria, avanzando hacia modelos que permitan integrar variables estructurales, operacionales y económicas dentro de la planificación de inversiones.

En este contexto, los expertos indicaron que actualmente gran parte de las decisiones relacionadas con renovación y rehabilitación continúan desarrollándose bajo criterios reactivos, asociados principalmente a la ocurrencia de emergencias sanitarias y rebalses.

De igual manera, los especialistas coincidieron en la importancia de fortalecer el uso de herramientas tecnológicas modernas, tales como GIS, inspecciones CCTV, sensores operacionales y modelos predictivos orientados al análisis de criticidad.

Los participantes del panel señalaron además que la integración de información operacional y estructural constituye uno de los principales desafíos para mejorar la eficiencia en la toma de decisiones.

Asimismo, se destacó que las inspecciones televisivas bajo metodología NASSCO representan actualmente una de las herramientas más relevantes para apoyar procesos de diagnóstico y priorización de inversiones.

Los expertos también señalaron que las tecnologías sin zanja presentan importantes ventajas operacionales para la realidad urbana de Arica,

especialmente debido a la disminución de impactos asociados a excavaciones tradicionales.

En términos generales, el panel de expertos validó la pertinencia técnica y estratégica del modelo de gestión desarrollado durante la investigación, considerando que la implementación de metodologías basadas en criticidad y riesgo permitiría optimizar significativamente la continuidad operacional de la red de alcantarillado.

4.3. Marco Teórico del Estado del Arte

Este apartado tiene por objetivo establecer las bases conceptuales y metodológicas que sustentan el desarrollo del estudio, integrando los principales enfoques teóricos y herramientas utilizadas en la gestión de redes de alcantarillado. A partir de la revisión del estado del arte, se identifican los conceptos clave asociados a la gestión de activos, los modelos de deterioro y las metodologías de priorización de intervenciones, los cuales permiten comprender la evolución del enfoque desde esquemas reactivos hacia estrategias predictivas basadas en datos.

4.3.1. Gestión de activos en redes de alcantarillado

La gestión de activos en infraestructura sanitaria se define como un proceso sistemático orientado a equilibrar de manera óptima el costo, el riesgo y el desempeño de los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida. En el caso de las redes de alcantarillado, este enfoque adquiere especial relevancia debido a la “baja visibilidad” de las tuberías subterráneas, las cuales suelen ser postergadas en los planes de inversión hasta que estas colapsan, lo que incrementa significativamente los costos de intervención. En este contexto, un marco estratégico robusto debe garantizar la integración entre los ámbitos técnicos y financieros de la empresa sanitaria gestora (Jawwa, 2015).

El desarrollo operativo de esta estrategia se materializa a través de la estructuración de un Plan de Gestión Total de Activos (TAMP). Este documento técnico permite administrar la infraestructura mediante la definición de Niveles de Servicio (LoS), los cuales establecen los estándares de calidad, fiabilidad y continuidad que la empresa sanitaria debe entregar a los usuarios en la localidad de Arica. La implementación de estos niveles permite identificar brechas de desempeño y priorizar las intervenciones en los colectores basándose en evidencia técnica y objetivos institucionales (NSW Office of Water, 2011).

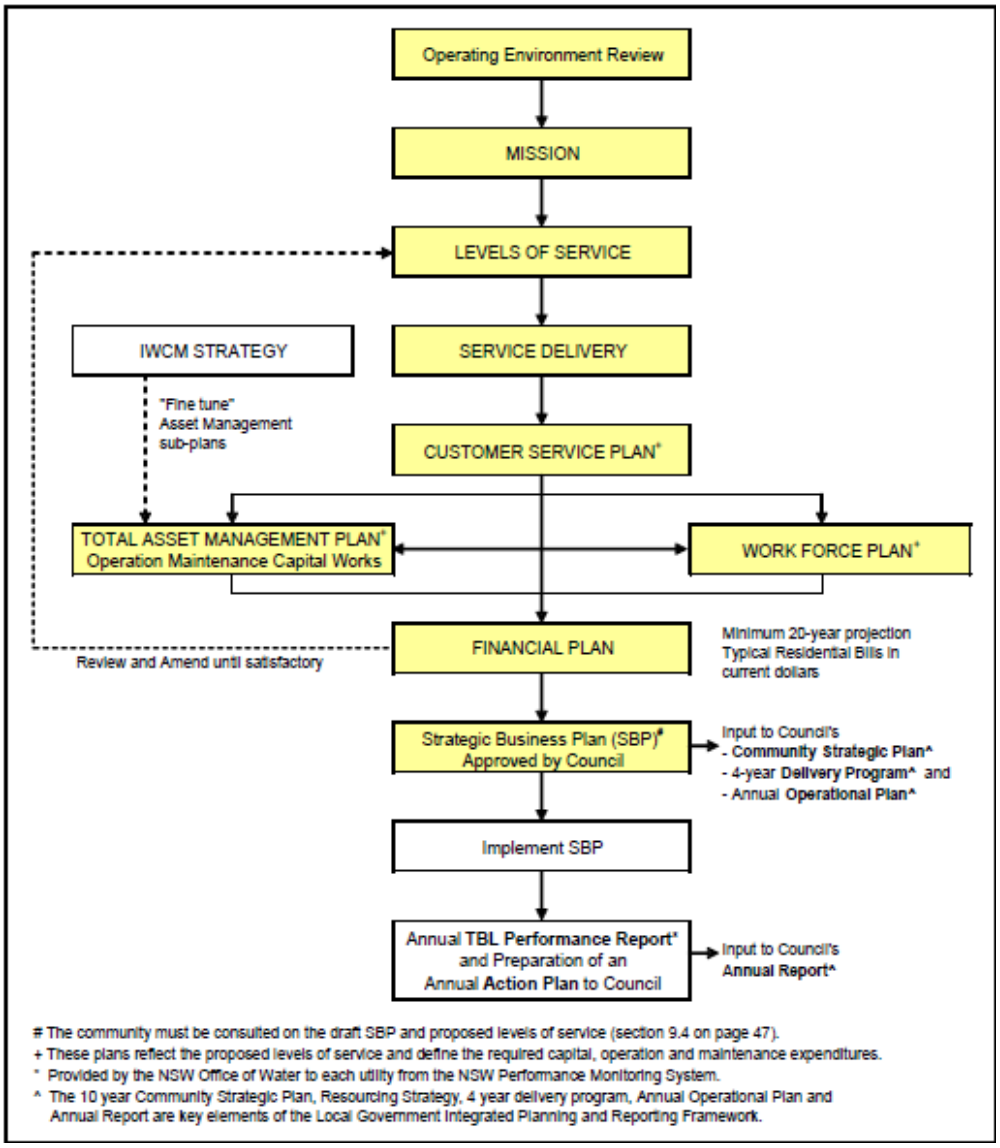


Figura 4-1: Proceso de planificación estratégica empresarial para el sector del agua y/o el alcantarillado.

Fuente: NSW Office of Water, 2011.

Desde una perspectiva operativa, la gestión moderna de redes de alcantarillado requiere avanzar desde enfoques reactivos hacia estrategias preventivas y predictivas. Aunque los sistemas de recolección representan una proporción significativa del valor total de la infraestructura sanitaria (entre un 10% y un 15%), históricamente han recibido una menor atención presupuestaria en comparación con otros componentes del sistema, como las plantas de tratamiento. En este contexto, la optimización de la operación demanda la implementación de programas sistemáticos de inspección, monitoreo y limpieza que permitan conocer el estado real de la red y reducir los riesgos ambientales y sanitarios asociados a desbordes y discontinuidades del servicio (NEIWPCC/EPA, 2003).

La necesidad de este cambio de paradigma se ve reforzada por el progresivo envejecimiento de la infraestructura. El concepto *Buried No Longer* advierte que una parte importante de las redes instaladas durante las últimas décadas está alcanzando simultáneamente el término de su vida útil, generando una creciente demanda de renovación con implicancias directas en la sostenibilidad financiera de las empresas sanitarias, la planificación de inversiones y la continuidad operacional del servicio. Asimismo, la magnitud de estas intervenciones puede generar impactos relevantes sobre la comunidad y el entorno urbano durante su ejecución. En consecuencia, la gestión de activos trasciende las actividades de mantenimiento y se consolida como una herramienta estratégica de planificación de largo plazo, orientada a anticipar la degradación de la infraestructura, optimizar la asignación de recursos y garantizar la continuidad y calidad del servicio sanitario (AWWA, 2012).

4.3.2. Sistemas de Soporte a la Decisión para la Gestión de Activos de Alcantarillado

La creciente complejidad asociada a la gestión de activos subterráneos, caracterizada por la incertidumbre respecto a su estado físico, la extensa cobertura de las redes y las restricciones presupuestarias que enfrentan las empresas sanitarias ha impulsado el desarrollo de los Sistemas de Soporte a la Decisión (Decision Support Systems, DSS). En este contexto, un DSS puede definirse como una plataforma que integra bases de datos, herramientas analíticas y criterios de evaluación para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la operación, mantenimiento, rehabilitación y renovación de la infraestructura.

Estos sistemas no buscan reemplazar el criterio técnico de los profesionales, sino proporcionar una base objetiva y trazable que facilite la priorización de intervenciones y la justificación de inversiones ante organismos reguladores y otros actores relevantes. De acuerdo con la literatura, los DSS aplicados a redes de alcantarillado pueden agruparse en tres categorías principales: sistemas orientados a la gestión e integración de datos, modelos de análisis y predicción del comportamiento de los activos, y herramientas de optimización destinadas a apoyar la planificación de mantenimiento, rehabilitación y renovación de la infraestructura (Ana y Bauwens, 2007).

4.3.3. Integración de Datos y Análisis Espacial en la Gestión de Redes de Alcantarillado

La efectividad de cualquier modelo de decisión depende directamente de la calidad y del nivel de integración de los datos de entrada. En la gestión de redes de alcantarillado, la información suele encontrarse fragmentada en distintos sistemas operativos, tales como registros de limpieza, historiales de fallas, datos de telemetría y reportes de inspección televisiva (CCTV). En este contexto, los marcos de trabajo integrados permiten superar esta fragmentación, asegurando que la información converja en una plataforma común donde la interoperabilidad de los datos facilite un análisis sistémico.

Esta integración permite que el análisis de criticidad no se limite únicamente a variables como la antigüedad de la tubería, sino que incorpore una visión más amplia, considerando factores asociados al entorno urbano y al impacto socioambiental de una eventual falla (Halfawy, 2013).

En este contexto, el Sistema de Información Geográfica (GIS) deja de ser una herramienta de visualización para convertirse en un componente central de integración y análisis espacial de la red. El GIS permite georreferenciar eventos de falla y relacionarlos con variables externas, como el tipo de suelo, la proximidad a infraestructura crítica o el flujo vehicular. Esta capacidad resulta especialmente relevante en una ciudad como Arica, donde la topografía y la configuración urbana influyen directamente en la vulnerabilidad de los ramales. Asimismo, el uso de GIS contribuye a la generación de una "memoria institucional" digital, fundamental para la continuidad operativa y la toma de decisiones informadas en el tiempo (Patel & Nihalani, 2023).

4.3.4. Modelación del Deterioro: Enfoques Determinísticos y Probabilísticos

Uno de los principales aportes de los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) modernos es la incorporación de modelos avanzados de deterioro. Mientras que los enfoques tradicionales se basaban en estimaciones lineales de vida útil, las metodologías actuales utilizan enfoques probabilísticos y de simulación que permiten representar de mejor manera la incertidumbre asociada al comportamiento de los activos.

Entre los principales enfoques se encuentran:

- Modelos basados en reglas: emplean conocimiento experto para construir árboles de decisión que clasifican la condición de los colectores en función de parámetros físicos y operacionales observados.
- Modelos de transición de estado: utilizan cadenas de Markov o matrices de transición para estimar la probabilidad de que una tubería evolucione desde un estado "bueno" a un estado "crítico" en un periodo determinado.

Herramientas de reconocimiento internacional, como CARE-S (Computer Aided Rehabilitation of Sewer Networks) e Hydroplan, representan esta evolución metodológica. Estos sistemas permiten simular distintos escenarios de inversión ("qué pasaría si"), evaluando sus efectos sobre el nivel de servicio en el largo plazo. Al centrarse en la vida útil residual, y no únicamente en la edad cronológica, estos modelos permiten optimizar el momento de intervención, evitando tanto el reemplazo prematuro como las fallas asociadas a un mantenimiento reactivo (Pérez & Perdomo, 2011).

4.3.5. Análisis Multicriterio para la Evaluación de Criticidad y Priorización de Intervenciones

La toma de decisiones en la gestión de activos ha evolucionado hacia enfoques que reconocen que el costo financiero no es el único criterio relevante. En este contexto, se hace necesario incorporar variables sociales y ambientales en el análisis de criticidad, con el fin de avanzar hacia una gestión más sostenible y resiliente. El Análisis Multicriterio (MCDA) permite integrar estas dimensiones mediante la asignación de pesos a distintos factores, tales como el impacto de los desbordamientos de aguas servidas en la salud pública, la contaminación de acuíferos y las molestias generadas a la comunidad.

Este enfoque permite que la priorización de colectores no dependa únicamente de su estado físico, sino también de su relevancia dentro del sistema urbano, considerando sus efectos sobre el entorno y la población (Lerer et al., 2022).

De manera complementaria, la evaluación de proyectos en el ámbito sanitario requiere un análisis costo-beneficio que trascienda la contabilidad tradicional, incorporando externalidades como la prevención de enfermedades y la protección del valor del entorno urbano. La aplicación de estos enfoques permite sustentar, tanto ante entidades públicas como privadas, la necesidad de invertir en infraestructura subterránea, asegurando que las decisiones de rehabilitación generen el mayor valor social en el largo plazo (Arrojo Agudo et al., 2004).

4.3.6. Benchmarking y Calibración de Modelos de Deterioro

A pesar del avance en las herramientas de software, el éxito de un Sistema de Soporte a la Decisión (DSS) depende en gran medida de su adecuada calibración con la realidad local. El benchmarking, entendido como la comparación sistemática entre modelos, constituye una práctica clave para verificar si las predicciones teóricas se ajustan a las condiciones observadas en terreno, particularmente a través de inspecciones CCTV.

La literatura advierte que muchos modelos presentan limitaciones al no considerar métricas de desempeño específicas de las empresas sanitarias ni las condiciones geográficas propias de la zona de estudio. En este contexto, resulta fundamental que las metodologías de análisis de criticidad sean de carácter iterativo, permitiendo ajustar sus parámetros a partir de evidencia empírica.

De este modo, se mejora la precisión de las predicciones y se fortalece la confiabilidad de las decisiones de inversión asociadas a la gestión de la infraestructura (Caradot et al., 2018).

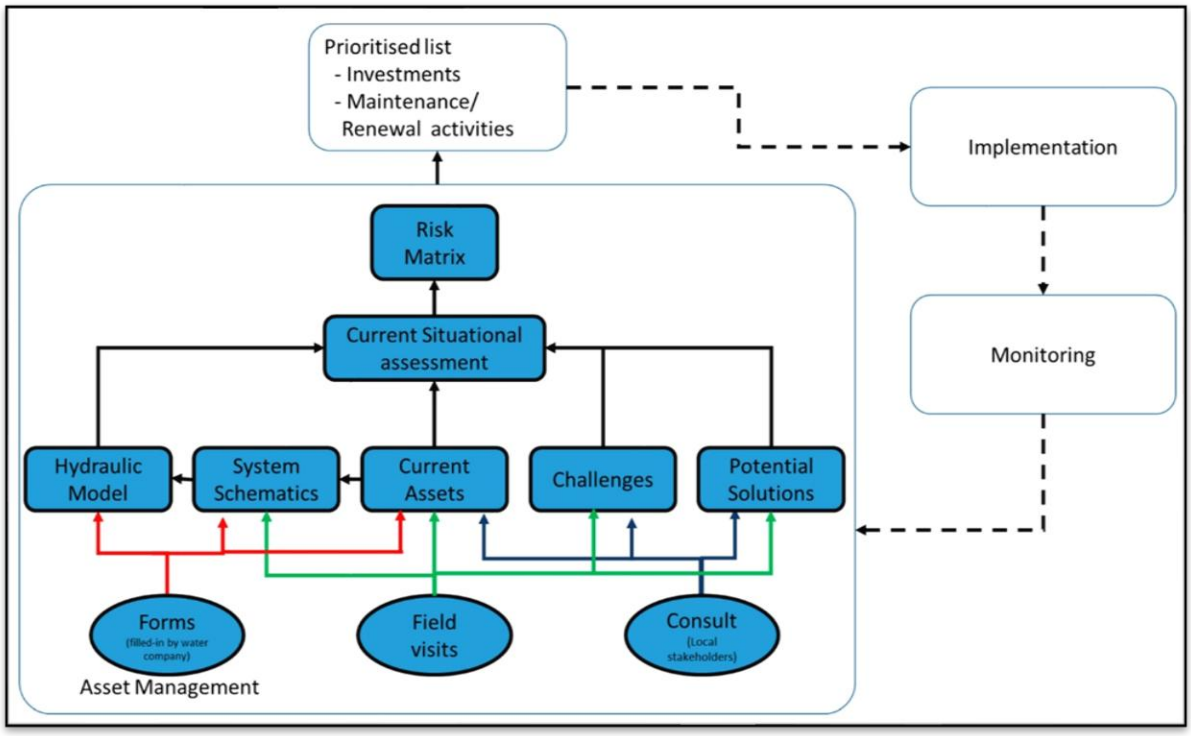


Figura 4-2: Aplicación del modelo en gestión de activos

Fuente: Elaboración propia

Este proceso de validación, representado en la Figura 4-2, permite cerrar el ciclo de la gestión de activos, transformando los datos en información útil para la toma de decisiones. En el caso de la red de Arica, esta calibración permitirá que la matriz de riesgo deje de ser un instrumento estático y se convierta en una herramienta dinámica, capaz de ajustarse al comportamiento real de la infraestructura frente a las condiciones operativas y climáticas (Caradot et al., 2018).

4.3.7. Modelos Predictivos y Herramientas Avanzadas para la Gestión de Redes de Alcantarillado

Durante los últimos años, la gestión de redes de alcantarillado ha evolucionado desde enfoques centrados únicamente en el diagnóstico de fallas existentes hacia metodologías capaces de anticipar el comportamiento futuro de los activos. Esta evolución responde a la necesidad de optimizar los recursos disponibles y reducir los costos asociados a intervenciones de emergencia, mediante la identificación temprana de colectores con mayor probabilidad de deterioro o falla.

En este contexto, los modelos predictivos han adquirido una creciente relevancia como herramientas de apoyo para la toma de decisiones. Su aplicación permite analizar simultáneamente múltiples variables relacionadas con las características físicas de la infraestructura, su historial operacional y las condiciones del entorno, contribuyendo a estimar el nivel de riesgo asociado a cada activo. De esta manera,

el deterioro deja de ser abordado únicamente como un fenómeno observado en terreno y pasa a ser tratado como un proceso susceptible de ser modelado y proyectado en el tiempo.

4.3.8. Modelación del Envejecimiento mediante el Modelo de Supervivencia de Cohortes

El fundamento de cualquier análisis de criticidad reside en comprender cómo el tiempo y las condiciones de operación degradan el activo. Uno de los avances metodológicos más significativos en esta área es la introducción de la planificación selectiva de inspecciones basada en pronósticos de envejecimiento. A diferencia de los modelos lineales de vida útil, este enfoque utiliza la metodología de supervivencia de cohortes para predecir la probabilidad de que una tubería o un grupo de ellas evolucione hacia una fase de estado crítico (Baur & Herz, 2002).

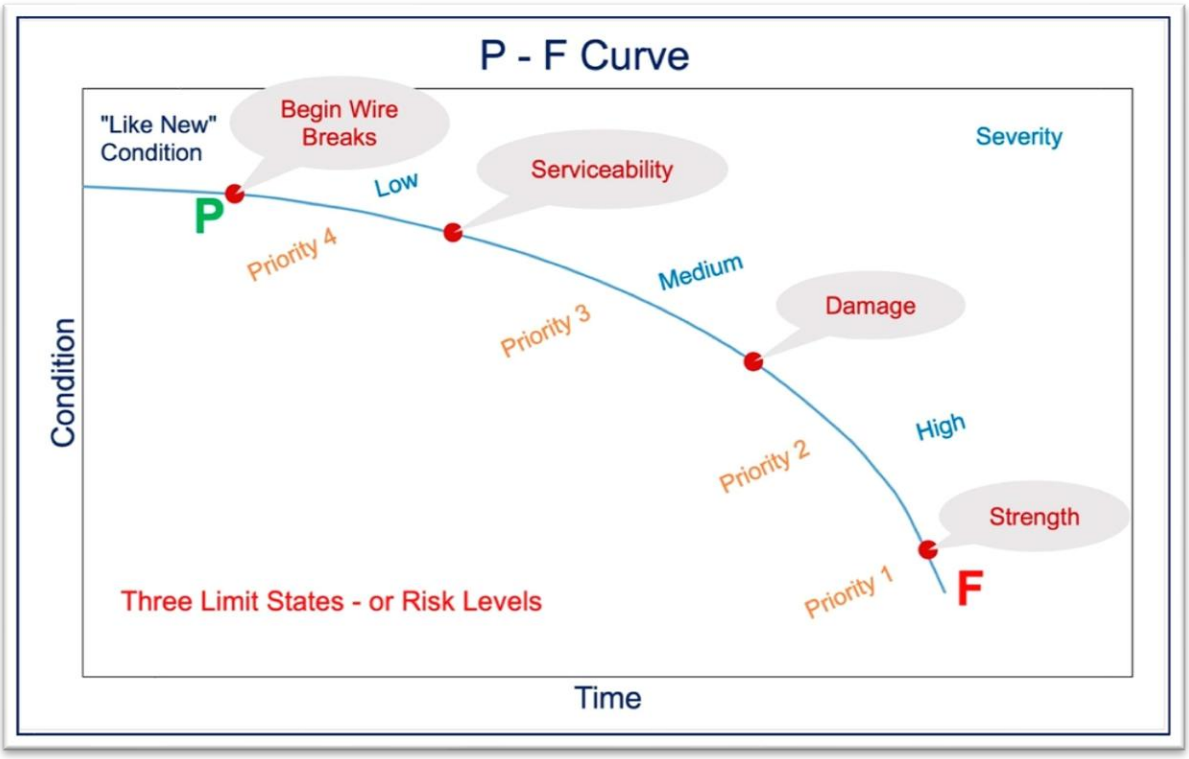


Figura 4-3: Curva de supervivencia del modelo de cohortes.

Fuente: Baur & Herz, 2002.

Este modelo asume que el deterioro no es uniforme, sino que depende de "cohortes" o grupos de activos que comparten características similares (material, periodo de instalación, condiciones de suelo). Al aplicar funciones de supervivencia, es posible estimar el tiempo de permanencia de un colector en un estado funcional antes de que su probabilidad de falla supere los umbrales de seguridad aceptables. Esta capacidad de pronóstico es vital para la toma de decisiones, ya que permite a los gestores de red priorizar inspecciones CCTV solo en aquellos activos que,

estadísticamente, están más cerca de agotar su vida útil residual (Baur & Herz, 2002).

4.3.9. Aplicación de la Inteligencia Artificial y el Aprendizaje Automático en la Gestión de Activos de Alcantarillado

En la última década, la disponibilidad de grandes volúmenes de datos operativos (Big Data) ha permitido la irrupción del Aprendizaje Automático (Machine Learning) como el nuevo estándar para la identificación de activos críticos. El uso de algoritmos avanzados permite identificar patrones ocultos en bases de datos que las herramientas estadísticas tradicionales suelen omitir. Estos modelos son capaces de procesar simultáneamente variables estructurales (diámetro, profundidad) y operacionales (frecuencia de limpiezas, obstrucciones históricas) para mejorar drásticamente la precisión en la predicción de fallas (Hussain et al. 2025).

La literatura reciente destaca que el Machine Learning no solo predice la ubicación de posibles fallas, sino que ayuda a categorizar la criticidad del activo de manera automatizada. Al entrenar algoritmos con datos históricos de inspecciones y reparaciones, el sistema aprende a distinguir entre ramales con alta probabilidad de obstrucción recurrente y aquellos que presentan riesgos de colapso estructural. Esta innovación tecnológica es la que permite que el análisis de criticidad pase de ser una estimación manual a un proceso de inteligencia de datos que maximiza la eficiencia de los recursos de mantenimiento y renovación (Hussain et al. 2025).

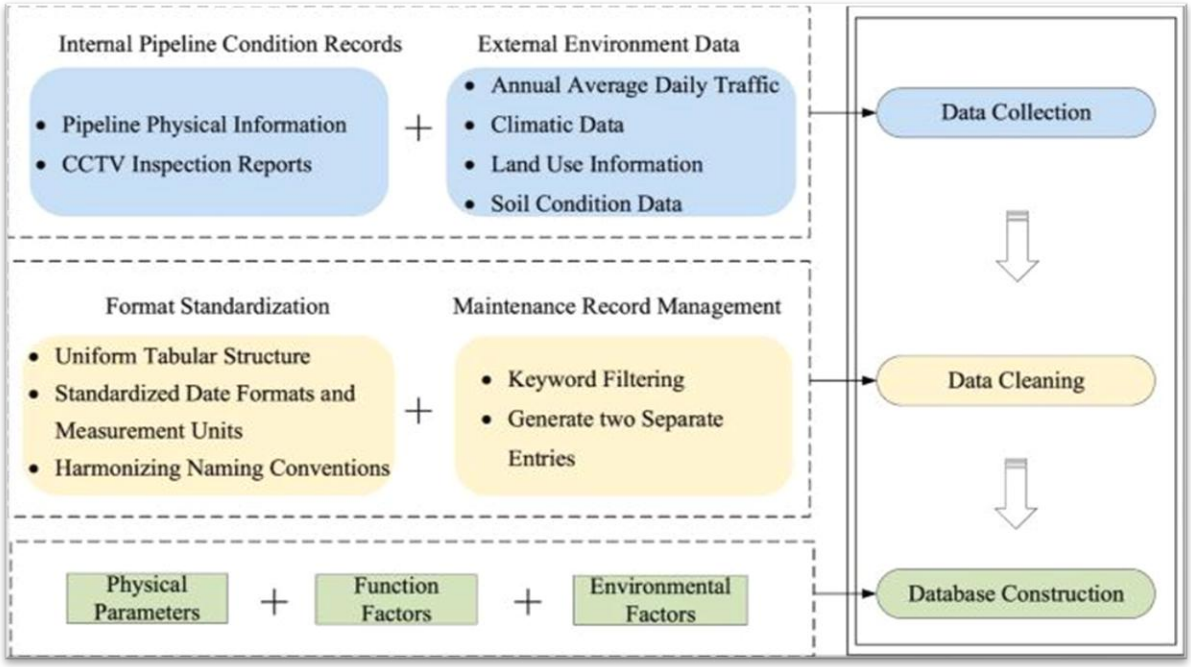


Figura 4-4: Arquitectura de Machine Learning.

Fuente: Hussain et al. 2025.

4.3.9.1. Benchmarking y Validación: La Necesidad de Métricas Locales

A pesar del potencial de la inteligencia artificial, la implementación de estos modelos en las empresas de servicios sanitarios enfrenta el desafío de la validación. No todos los modelos predictivos funcionan con la misma eficacia en todos los contextos geográficos. Por ello, resulta imperativo realizar procesos de benchmarking que comparen el desempeño de modelos estadísticos tradicionales frente a algoritmos de aprendizaje automático. Este análisis comparativo permite identificar cuál es la herramienta que mejor se ajusta a la naturaleza de los datos disponibles en la organización (Caradot et al. 2018).

Un hallazgo crítico en la investigación sobre modelos predictivos es la advertencia sobre el uso de métricas genéricas. Existe una necesidad imperiosa de desarrollar y aplicar métricas adaptadas a la realidad operativa de cada empresa sanitaria. Un modelo puede mostrar una alta precisión teórica, pero ser ineficiente si no logra identificar los eventos que representan el mayor riesgo para la continuidad del servicio o si genera demasiados "falsos positivos" que derivan en inspecciones innecesarias. La validación empírica en terreno es, por tanto, el filtro final que asegura que la innovación tecnológica se traduzca en una gestión de activos verdaderamente efectiva y económicamente viable (Caradot et al. 2018).

4.3.9.2. Sinergia entre Modelos para el Análisis de Criticidad en Arica

La integración de estos tres pilares:

- Pronóstico de envejecimiento
- Inteligencia artificial
- Validación métrica

configura el estado del arte en la gestión de redes de alcantarillado. Para una localidad con las particularidades de Arica, donde factores ambientales como la salinidad y la composición del suelo aceleran ciertos procesos de deterioro, la aplicación de modelos predictivos no es una opción, sino una necesidad estratégica.

La metodología propuesta en esta investigación utiliza esta sinergia tecnológica para construir una matriz de criticidad que no solo mire hacia atrás (historial de fallas), sino que proyecte el riesgo futuro. Al combinar la solidez estadística del modelo de cohortes con la capacidad de procesamiento de patrones del Machine Learning, se logra un diagnóstico que permite diferenciar con precisión qué colectores requieren una limpieza correctiva inmediata, cuáles deben ser incorporados de forma urgente en planes de rehabilitación no invasiva y/o debe ser renovados en su totalidad.

4.3.10. Metodologías Aplicadas y Contexto Local: El Caso de Arica

La implementación de modelos de gestión de activos en redes de alcantarillado requiere necesariamente de una adaptación a las condiciones geográficas, climáticas y operacionales del territorio. En el caso de Arica, la gestión tradicional ha estado marcada históricamente por un enfoque reactivo, donde la mayoría de las intervenciones se realizan como respuesta a obstrucciones o fallas ya manifestadas. Para transitar hacia una gestión eficiente, se propone el diseño de metodologías que permitan priorizar los recursos limitados mediante la identificación de sectores críticos, utilizando herramientas de inteligencia de datos y sectorización territorial (Montero, 2023).

4.3.10.1. La Unidad de Análisis: El Concepto de Ramal

Uno de los pilares metodológicos aplicados localmente es la definición de una unidad mínima de análisis que permita una gestión integral de la red. En lugar de analizar tramos aislados o la ciudad completa, se utiliza el concepto de ramal, que corresponde a la agrupación de colectores en sectores de aproximadamente 500 metros. Esta sectorización facilita el cálculo de indicadores de desempeño y permite que la planificación del mantenimiento y las inspecciones televisivas (CCTV) se enfoquen en áreas con comportamientos hidráulicos y operativos similares, optimizando la logística de terreno y la precisión del diagnóstico.

4.3.10.2. Indicadores de Desempeño Operacional (KPI) en la Red de Arica

La evaluación de la eficiencia en la gestión de alcantarillado local se sustenta en el uso de indicadores clave de desempeño (KPI). El indicador central aplicado en la zona es la Tasa de Obstrucciones de Colector (TOC), la cual mide el número de obstrucciones registradas en un periodo de 12 meses por cada 100 km de red. Este indicador permite normalizar los datos de falla y comparar el desempeño de diferentes sectores de la ciudad, identificando aquellos ramales que presentan una recurrencia sistemática de problemas operativos y que, por tanto, deben ser priorizados para intervenciones de limpieza, rehabilitación o renovación.

4.3.10.3. El Catastro GIS como Fuente de Información Estructural

Para que el análisis de criticidad sea representativo, es fundamental contar con una base de datos fidedigna sobre la infraestructura física. En esta metodología, los factores estructurales —tales como el diámetro, la materialidad de la tubería y los años de servicio, no se asumen teóricamente, sino que son catastrados directamente desde el Sistema de Información Geográfica (GIS).

El GIS actúa como el repositorio central de los atributos estáticos de cada colector, funcionando como una "memoria digital" que permite identificar tramos con diámetros inferiores a los estándares actuales o materiales que han cumplido su ciclo de vida útil. La integración de estos datos catastrados es lo que permite

sustentar técnicamente el porqué de la priorización de ciertos ramales frente a otros dentro de la matriz de riesgo, otorgando un sustento real basado en la infraestructura existente.

4.3.10.4. Hacia una Matriz de Criticidad Integrada: Normativa y Terreno

La evolución hacia una matriz de criticidad robusta implica cruzar la información operacional con los parámetros de diseño vigentes. En este punto, la normativa chilena NCh1105, provee los estándares técnicos y requisitos de cálculo hidráulico contra los cuales se contrastan los datos obtenidos del GIS. Mientras la norma define los criterios de cumplimiento (como diámetros mínimos o profundidades), la metodología utiliza esta referencia para calificar la gravedad de las deficiencias detectadas en el catastro digital.

Finalmente, este diagnóstico teórico se valida mediante inspecciones CCTV siguiendo el protocolo NASSCO (PACP), lo que permite separar con exactitud las fallas operacionales de las estructurales. Al combinar los antecedentes operativos con el catastro estructural del GIS y el marco normativo de la NCh1105, se consolida un modelo que determina con precisión qué colectores en Arica requieren una renovación total o una rehabilitación mediante tecnologías no invasivas.

4.3.11. Herramientas de Diagnóstico y Detección de Fallas en la Infraestructura de Saneamiento

El diagnóstico técnico constituye un elemento fundamental en la gestión de activos, ya que actúa como el vínculo entre la recolección de información y la toma de decisiones estratégicas respecto a la operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura. En el caso de las redes de alcantarillado, cuya naturaleza subterránea dificulta su observación directa y permanente, el uso de tecnologías de inspección y auscultación resulta indispensable para conocer el estado real de los colectores.

En este contexto, la aplicación de herramientas de diagnóstico permite identificar defectos estructurales y operacionales en la red, tales como grietas, infiltraciones, obstrucciones o deformaciones, proporcionando información objetiva para la evaluación de la condición de los activos. Para la red de alcantarillado de la ciudad de Arica, este capítulo no solo describe las principales tecnologías disponibles para la detección de fallas, sino que también explica cómo la evidencia técnica obtenida mediante estas herramientas contribuye a reducir la incertidumbre en la evaluación del sistema.

De esta manera, la información recopilada permite sustentar la construcción de matrices de criticidad y orientar la planificación de intervenciones, transformando supuestos teóricos en decisiones de gestión basadas en la condición real de la infraestructura sanitaria (Montero, 2023).

4.3.11.1. Inspección Televisiva (CCTV) y la Estandarización del Dato

La inspección mediante circuito cerrado de televisión (CCTV) se ha consolidado como una de las tecnologías más utilizadas para la evaluación interna de colectores en redes de alcantarillado. Su aplicación permite identificar y registrar una amplia variedad de defectos presentes en las tuberías, tanto de carácter estructural, como grietas, fracturas o colapsos, como de tipo operacional, entre los que destacan la intrusión de raíces, la acumulación de sedimentos o la presencia de grasas. La evolución de estos sistemas ha permitido incorporar cámaras robóticas con capacidad de rotación de 360° y zoom de alta definición, lo que posibilita inspeccionar de manera detallada todo el perímetro interno de la tubería. De esta forma, se obtiene un registro visual confiable que sirve como respaldo técnico para la evaluación del estado de la infraestructura y para la planificación de futuras intervenciones (Montero, 2023).

No obstante, el valor técnico de las inspecciones CCTV no radica únicamente en la obtención de imágenes, sino en la posibilidad de sistematizar y cuantificar la información obtenida. En este sentido, el uso del estándar PACP (Pipeline Assessment and Certification Program) desarrollado por NASSCO resulta fundamental. Este protocolo establece un lenguaje técnico estandarizado que permite codificar los defectos observados y clasificar su severidad mediante una escala que va del 1 al 5. La aplicación de este sistema de evaluación facilita la asignación de puntajes asociados tanto a fallas estructurales como operacionales, permitiendo integrar los resultados de las inspecciones en matrices de riesgo o criticidad. De esta manera, es posible comparar objetivamente distintos ramales de la red y priorizar aquellos que presentan una mayor probabilidad de falla o un riesgo significativo para la continuidad del servicio (NASSCO / PACP, 2022).

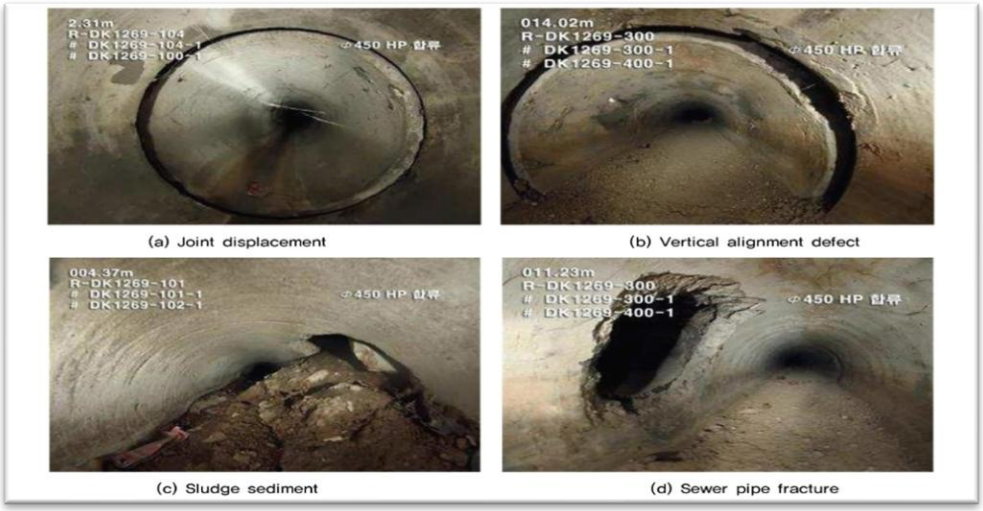


Figura 4-5: Ejemplos de defectos estructurales en colectores (PACP).

Fuente: Adaptado de NASSCO / PACP, 2022

Grades	Description	Time to failure (year)
Grade 5: Immediate attention	Defects requiring immediate attention	Next 5 years
Grade 4: Poor	Severe defects that will become grade 5 within the near future	5–10
Grade 3: Fair	Moderate defects that will continue to deteriorate	10–20
Grade 2: Good	Defects that have not started deteriorating	≥20
Grade 1: Excellent	Pipe functional with minor defects)	Normal life applicable to the pipe material

Figura 4-6: Sistema de clasificación de condición PACP.

Fuente: Adaptado de NASSCO / PACP, 2022

4.3.11.2. Inspección Multisensorial: Sonar y Perfilado Láser

Para lograr una caracterización más completa del estado de la red, especialmente en colectores de gran diámetro o en aquellos que operan con niveles de flujo elevados, las inspecciones basadas únicamente en cámaras visuales pueden presentar ciertas limitaciones ópticas. En estos casos, la inspección multisensorial surge como una alternativa que permite complementar la información obtenida, mediante la integración de sensores acústicos y lumínicos que amplían la capacidad de diagnóstico de la infraestructura.

Dentro de estas tecnologías, el sonar permite examinar la parte sumergida de la tubería, facilitando la detección de acumulaciones de sedimentos, deformaciones o posibles anomalías estructurales que se encuentran bajo la línea de flujo y que no pueden ser observadas mediante cámaras convencionales. Por otra parte, el perfilado láser genera una nube de puntos de alta precisión que permite analizar la geometría interna del colector. A partir de esta información es posible medir con gran exactitud deformaciones de tipo elíptico, pérdidas de sección o disminuciones en el espesor de la pared de la tubería, fenómenos que suelen estar asociados a procesos de corrosión, como los provocados por la acción del ácido sulfhídrico.

La combinación de estas tecnologías permite obtener una evaluación tridimensional del estado del activo, lo que mejora significativamente el nivel de detalle del diagnóstico. Esta información resulta especialmente valiosa para la planificación de intervenciones de rehabilitación, particularmente cuando se consideran soluciones no invasivas, ya que permite diseñar estrategias de reparación más precisas y ajustadas a la condición real de la infraestructura (IbSTT, 2018).

4.3.11.3. Detección de Infiltraciones y Conexiones Erróneas (I&I)

La integridad de un sistema de alcantarillado no solo depende de su resistencia estructural, sino también de su capacidad para mantener la estanqueidad del sistema. La entrada de aguas externas, fenómeno conocido como Infiltración e Ingreso (I&I), puede afectar significativamente el funcionamiento de la red, ya que reduce la capacidad hidráulica disponible en los colectores y genera una sobrecarga en las plantas de tratamiento de aguas servidas.

En este contexto, las pruebas de humo (Smoke Testing) constituyen una herramienta de diagnóstico indirecto ampliamente utilizada para detectar posibles puntos de infiltración o conexiones indebidas al sistema. Este método consiste en la inyección de humo no tóxico a presión dentro de la red, lo que permite visualizar en superficie las fugas que se producen a través de fracturas, uniones defectuosas o conexiones ilícitas de aguas lluvias. De esta manera, es posible identificar sectores vulnerables de la red y elaborar una cartografía de puntos críticos que complementa la información obtenida mediante inspecciones CCTV (NEIWPCC / EPA, 2003).

De forma complementaria, las pruebas de tinte (Dye Testing) y el uso de sensores de conductividad permiten rastrear la trayectoria de flujos sospechosos dentro del sistema y verificar el origen de infiltraciones o descargas no autorizadas. Asimismo, estas técnicas permiten evaluar la efectividad de las reparaciones realizadas en la red. Este tipo de herramientas de diagnóstico operacional resulta particularmente relevante para la ciudad de Arica, donde la eficiencia en el transporte de aguas residuales influye directamente en los costos de operación del sistema, especialmente en el consumo energético, y en la conservación de la infraestructura frente a los procesos de corrosión asociados a las condiciones ambientales y a la presencia de suelos salinos (NEIWPCC / EPA, 2003).

4.3.11.4. Interdependencia Operativa: La Limpieza Previa

Un principio fundamental en el diagnóstico de fallas es que la precisión de la inspección es proporcional al estado de limpieza del colector. Los programas de operación y mantenimiento deben considerar la limpieza técnica (mediante camiones combinados de alta presión y succión) como una actividad obligatoria previa a cualquier diagnóstico por CCTV o multisensorial. La presencia de grasas o sedimentos no solo impide la visualización de fisuras en la base del tubo, sino que puede generar falsos diagnósticos sobre la capacidad hidráulica real del tramo. Por lo tanto, el diagnóstico de fallas debe entenderse como un proceso integrado que comienza con la preparación del activo para garantizar la fidelidad de los datos recolectados (NEIWPCC / EPA, 2003).

4.3.12. Estrategias de Renovación y Rehabilitación de Colectores

La culminación de un proceso de gestión de activos no reside únicamente en el diagnóstico de la criticidad, sino en la selección de la técnica de intervención más adecuada para restaurar o mejorar la capacidad de servicio del activo. En una ciudad con las complejidades urbanas y geográficas de Arica, la decisión entre reemplazar o rehabilitar un colector no es puramente técnica, sino que debe responder a un equilibrio entre la vida útil proyectada, la sostenibilidad financiera y el impacto social de las obras. Este capítulo aborda las alternativas de intervención, clasificándolas según su nivel de intrusión y su capacidad para resolver las deficiencias identificadas en el catastro (Montero, 2023).

4.3.12.1. Renovación Convencional: El Método de Zanja Abierta (Open Cut)

La renovación mediante excavación a zanja abierta es la técnica tradicional de reemplazo total del activo. Este método se considera la solución definitiva cuando el diagnóstico estructural arroja un nivel de criticidad terminal o cuando el catastro del GIS revela que el colector es incapaz de cumplir con los requisitos de capacidad hidráulica exigidos por la normativa NCh1105.

A pesar de su eficacia para instalar nuevas conducciones de materiales de última generación (como PEAD o PVC de pared estructurada), la renovación convencional presenta importantes externalidades negativas en entornos urbanos densos. Los altos costos asociados a la rotura y reposición de pavimentos, la interrupción prolongada del flujo vehicular en arterias críticas y la generación masiva de escombros y ruido, obligan a que este método sea el último recurso en la planificación de activos moderna, priorizándolo solo cuando la integridad estructural del suelo o del colector impida el uso de técnicas menos invasivas (NEIWPCC / EPA, 2003).

4.3.12.2. El Paradigma de las Tecnologías Sin Zanja (Trenchless Technology)

Frente a las limitaciones de la excavación abierta, las Tecnologías Sin Zanja (TSZ) surgen como una alternativa de alto valor estratégico. Se definen como un conjunto de métodos para la instalación, reemplazo o rehabilitación de tuberías que minimizan o eliminan la necesidad de excavaciones continuas, trabajando desde puntos de acceso existentes como las cámaras de inspección. Para la realidad de Arica, estas tecnologías representan la solución óptima para intervenir colectores críticos sin paralizar la dinámica de la ciudad (IbSTT, 2018).

Las ventajas de las TSZ se alinean con los objetivos de una gestión de activos sostenible: reducen drásticamente la huella de carbono de la obra, disminuyen los tiempos de ejecución hasta en un 40% y eliminan casi por completo las molestias a residentes y comercios locales. En el marco de esta tesina, la matriz de criticidad servirá para identificar aquellos ramales donde la aplicación de TSZ es técnica y económicamente superior a la renovación tradicional (IbSTT, 2018).

4.3.12.3. Métodos Específicos de Rehabilitación y Sustitución

Dentro del espectro de soluciones no invasivas, existen técnicas diferenciadas según el tipo de daño (estructural o superficial) registrado en la inspección CCTV y el protocolo PACP:

- Manga Curada *In Situ* (CIPP - *Cured-In-Place Pipe*): Es la técnica de rehabilitación estructural más versátil. Consiste en introducir una manga de fieltro o fibra de vidrio impregnada con resina termoestable, la cual se infla y cura dentro del colector viejo. El resultado es una "tubería nueva dentro de la antigua", sin juntas, con una vida útil superior a los 50 años y que mejora la capacidad hidráulica al reducir la rugosidad interna (IbSTT, 2018).

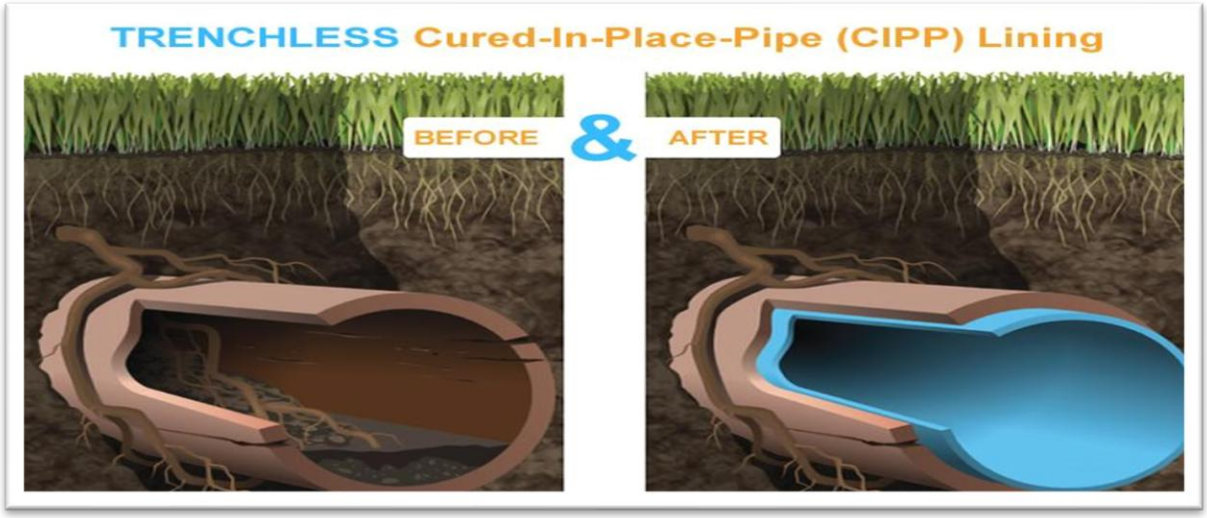


Figura 4-7: Rehabilitación de tuberías con CIPP**.**

Fuente: IbSTT, 2018

- Fragmentación de Tubería (*Pipe Bursting*): Se utiliza para el reemplazo de colectores que han fallado estructuralmente, pero mantienen su alineación. Un cabezal rompedor destruye la tubería existente (ya sea de hormigón o asbesto cemento) mientras jala una nueva de polietileno (PEAD). Este método es único entre las TSZ porque permite, en ciertos casos, aumentar el diámetro original de la conducción (NEIWPCC / EPA, 2003).



Figura 4-8: Reemplazo de tuberías mediante Pipe Bursting.

Fuente: NEIWPCC / EPA

- Reparaciones Puntuales (*Part-Liners* o *Packers*): Cuando la matriz de criticidad y el diagnóstico visual identifican que el daño está localizado en un punto específico (como una junta desplazada o una rotura puntual), no es eficiente rehabilitar todo el tramo. Los sistemas de obturadores neumáticos permiten instalar refuerzos localizados de resina y fibra de vidrio, optimizando el uso del presupuesto de mantenimiento (Montero, 2023)

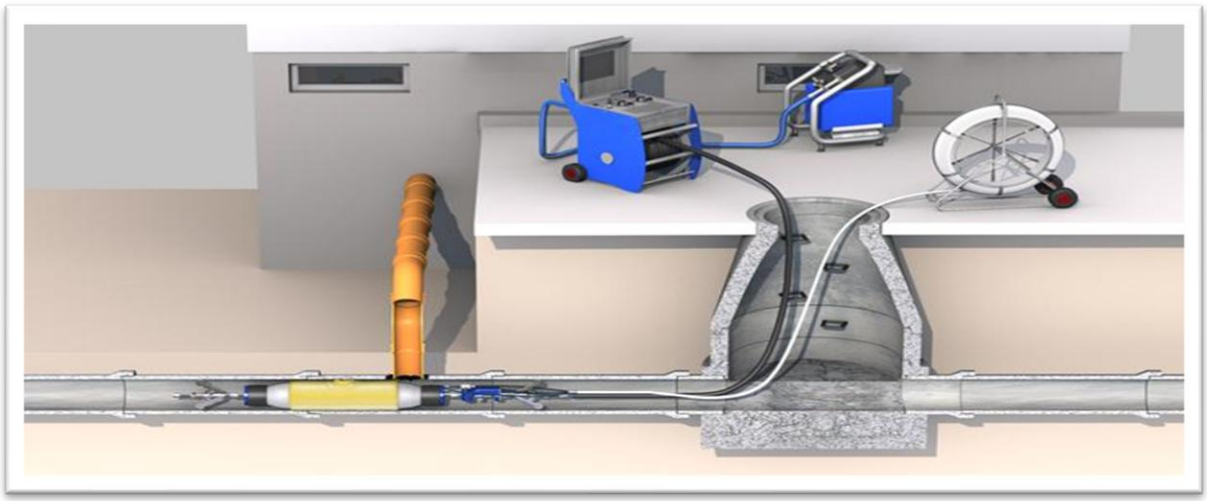


Figura 4-9: Ejemplo reparaciones puntuales con Part Liners o Packers (tecnología sin zanja).

Fuente: NEIWPCC / EPA

4.3.12.4. Criterios de Selección y el Umbral de Inviabilidad Técnica

La decisión final sobre el tipo de intervención se sustenta en un análisis multicriterio que cruza los datos del catastro GIS con los hallazgos del diagnóstico en terreno, donde la normativa NCh1105 actúa como un filtro de diseño fundamental: si la rehabilitación mediante tecnologías sin zanja reduce excesivamente la sección hidráulica de un colector que ya opera al límite de su capacidad, o si el diagnóstico mediante CCTV y protocolo PACP revela un compromiso estructural severo —como colapsos parciales, pérdida de alineación geométrica o deformaciones superiores al 15%—, la rehabilitación no invasiva deja de ser técnicamente factible. En estos casos de falla estructural terminal, la integridad de la "tubería anfitriona" se considera perdida, lo que obliga a la renovación mediante zanja abierta para reconstruir totalmente la infraestructura y asegurar la estabilidad del suelo circundante. De este modo, el modelo de gestión logra un equilibrio entre la sostenibilidad financiera, al priorizar métodos no invasivos de bajo impacto urbano, y la seguridad operativa, al retornar al método convencional cuando el activo ha superado su umbral de recuperación técnica (NEIWPCC / EPA, 2003); (Montero, 2023).

4.4. Sujeto de Estudio

El sujeto de estudio comprende la red de recolección y transporte de aguas residuales de la zona urbana de Arica. Dicha infraestructura sanitaria se encuentra estructurada bajo un esquema de tipo separativo. Esta configuración de diseño determina que el sistema de colectores está destinado, de forma restrictiva y exclusiva, a la captación, conducción y disposición final de los efluentes de origen doméstico e industrial.

Desde el punto de vista funcional, el sistema opera con total independencia de cualquier red de drenaje pluvial. Esta segregación de caudales previene la mezcla de las aguas servidas con las escorrentías superficiales. De este modo, se asegura un régimen hidráulico estable dentro de la red, el cual responde de manera directa al patrón de consumo de agua potable de la población, evitando sobrecargas por aportes externos de agua de lluvia.

La morfología urbana de la ciudad de Arica se caracteriza por la inexistencia de una red de alcantarillado pluvial. Esta particularidad de la infraestructura es una respuesta directa a las variables meteorológicas de la Región de Arica y Parinacota. La zona se emplaza en un ecosistema de desierto costero hiperárido, donde las tasas de precipitación anual son marginales o prácticamente nulas debido a la estabilidad atmosférica de la región.

Al no registrarse eventos pluviométricos recurrentes de magnitudes significativas, la implementación de un sistema secundario para la evacuación de aguas lluvias

carece de justificación técnica y económica. Por consiguiente, la evacuación de las aguas pluviales esporádicas se confía a la topografía de la vialidad pública y a la capacidad de infiltración natural del terreno. Esto impone la necesidad de garantizar un sellado hermético de la red sanitaria para evitar ingresos parásitos de caudal durante dichos eventos.

La administración, optimización operativa y mantenimiento de la red sanitaria están bajo la concesión de la empresa concesionaria Aguas del Altiplano S.A. Con el fin de mitigar los riesgos operativos y asegurar la eficiencia en la conducción de los flujos, la entidad implementa metodologías avanzadas de gestión de activos.

La columna vertebral de esta gestión corresponde a un catastro técnico georreferenciado, el cual se encuentra integrado en la plataforma de Sistemas de Información Geográfica ArcGIS. Esta herramienta tecnológica permite el procesamiento de datos espaciales y el análisis multidimensional de los componentes del sistema, tales como:

- Nodos de inspección**:** Cámaras de visita, cotas de radier y cotas de terreno.
- Vectores de flujo: Tramos de colectores con especificación de material, diámetro nominal, pendiente y velocidad de diseño.
- Sistemas de impulsión**:** Plantas elevadoras de aguas servidas (PEAS) y sus respectivas curvas de bombeo.

El uso de ArcGIS permite transitar desde un modelo de mantenimiento correctivo hacia uno predictivo y planificado. Asimismo, este inventario digitalizado constituye el marco de información primaria indispensable para la ejecución de modelos de simulación hidráulica y para la proyección de futuras extensiones de la red frente a la expansión demográfica de la ciudad.

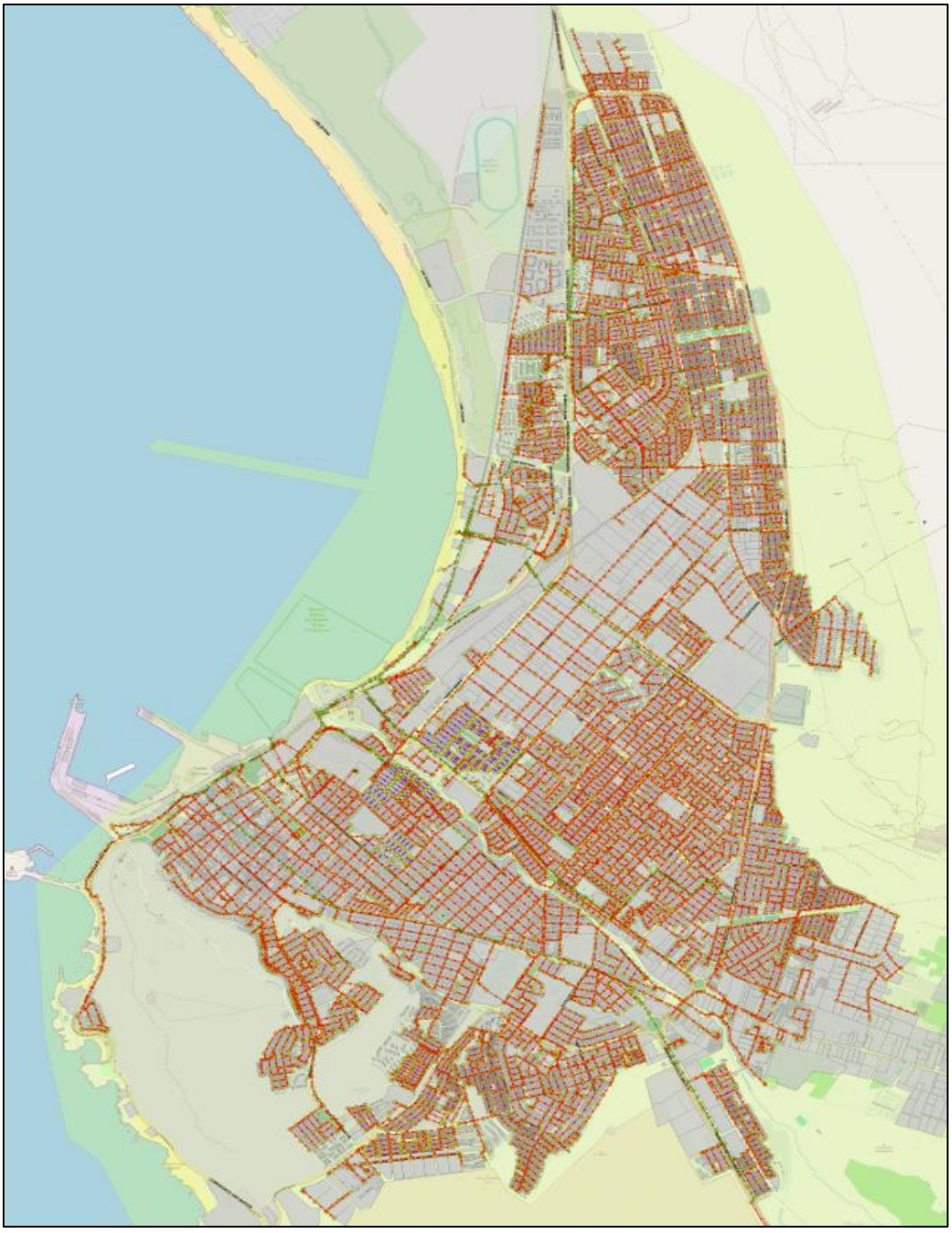


Figura 4-10: Catastro de redes de alcantarillado de la localidad de Arica, generado por ArcGis Web.

Fuente: GIS

La red presenta una extensión total de 442.994 metros de colectores, con una composición material dominada por el cemento y el PVC, que representan 44,6% y 43,1% de la red, respectivamente, mientras que el HDPE alcanza un 12,2% y el

acero una participación marginal de 0,04%, tal como se indica en la **Figura 4-1**. Esta distribución refleja tanto la evolución histórica del sistema como los procesos de renovación e incorporación de nuevas urbanizaciones, las cuales se ejecutan principalmente con tuberías de HDPE.

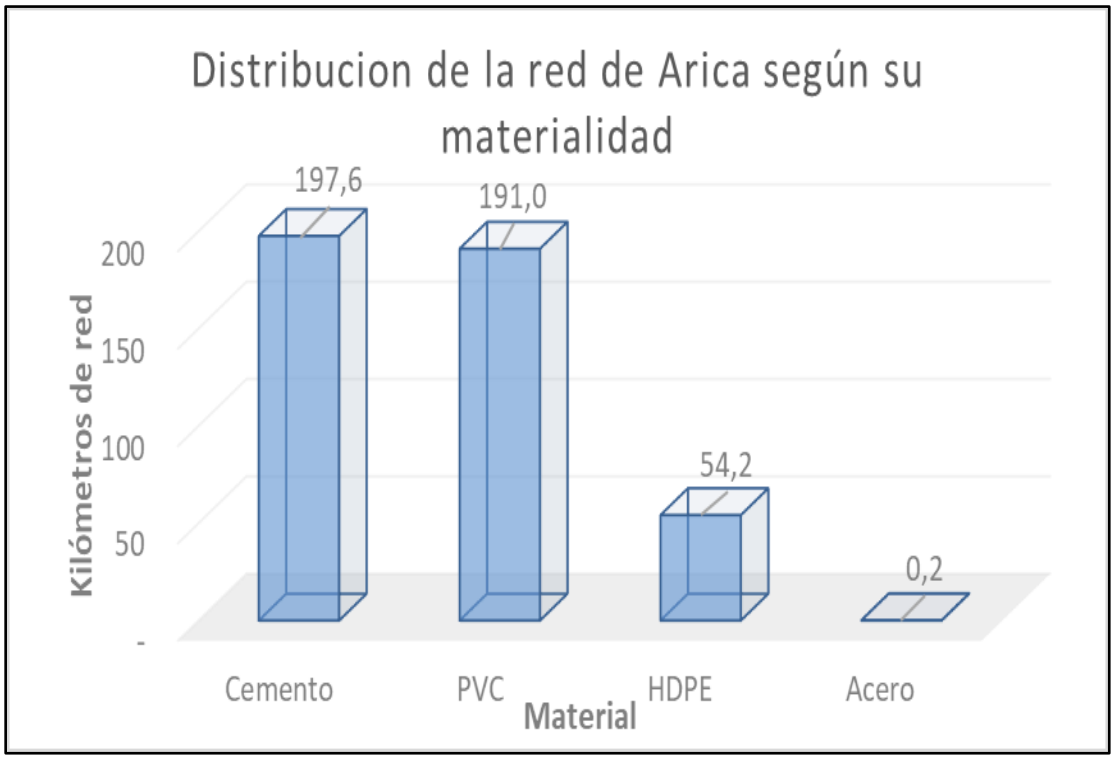


Figura 4-11: Distribución de materialidad red de alcantarillado de Arica

Fuente: Elaboración propia con la base de datos de ArcGis.

Desde el punto de vista del deterioro, los colectores de cemento adquieren especial relevancia debido a su susceptibilidad a procesos de corrosión biogénica, originados por la acción de gases como el sulfuro de hidrógeno, que en condiciones favorables generan ácido sulfúrico, acelerando la degradación del material y comprometiendo su integridad estructural.

En relación con la antigüedad, se observa que el 38,8% de la red supera los 60 años de servicio, mientras que un 28,5% presenta edades entre 30 y 59 años. En conjunto, esto implica que el 67,3% de la red tiene más de 30 años, situándose en etapas avanzadas de su ciclo de vida, considerando que la vida útil estimada de los colectores de alcantarillado se encuentra entre 50 y 60 años. En contraste, solo un 8,0% corresponde a infraestructura reciente, y un 4,2% no dispone de información.

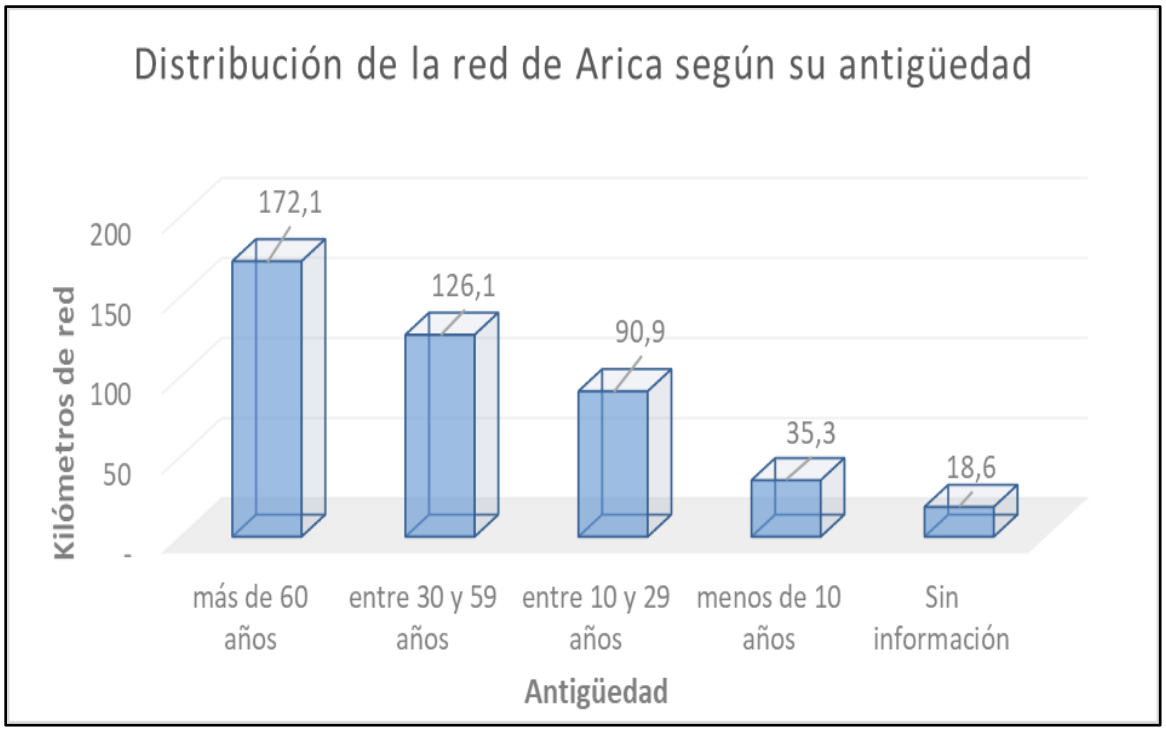


Figura 4-12: Distribución de la red de alcantarillado de Arica según su antigüedad.

Fuente: generación propia, desarrollada con la base de datos de ArcGis.

Al analizar de manera integrada la materialidad y la antigüedad de la red, es posible inferir una alta correlación entre los colectores de cemento y los tramos de mayor antigüedad, dado que este material fue ampliamente utilizado en las primeras etapas de expansión del sistema. En consecuencia, es razonable suponer que una proporción significativa del 44,6% de la red correspondiente a cemento se encuentra dentro del segmento que ha alcanzado o superado su vida útil.

Esta superposición de factores, considerando el material susceptible a corrosión y el envejecimiento avanzado de la red, configura un escenario de riesgo estructural elevado, en el cual se concentran las mayores probabilidades de fallas, tales como colapsos, obstrucciones o pérdidas de capacidad hidráulica.

Desde el punto de vista geométrico, la red está compuesta mayoritariamente por tuberías de pequeño diámetro, donde el 90,2% corresponde a diámetros entre 180 y 250 mm, lo que confirma su carácter predominantemente secundario. Los colectores de mayor capacidad representan una proporción reducida (7,9% entre 300 y 500 mm y 1,9% superiores a 500 mm), lo que implica una menor redundancia estructural frente a eventos de falla en tramos críticos.

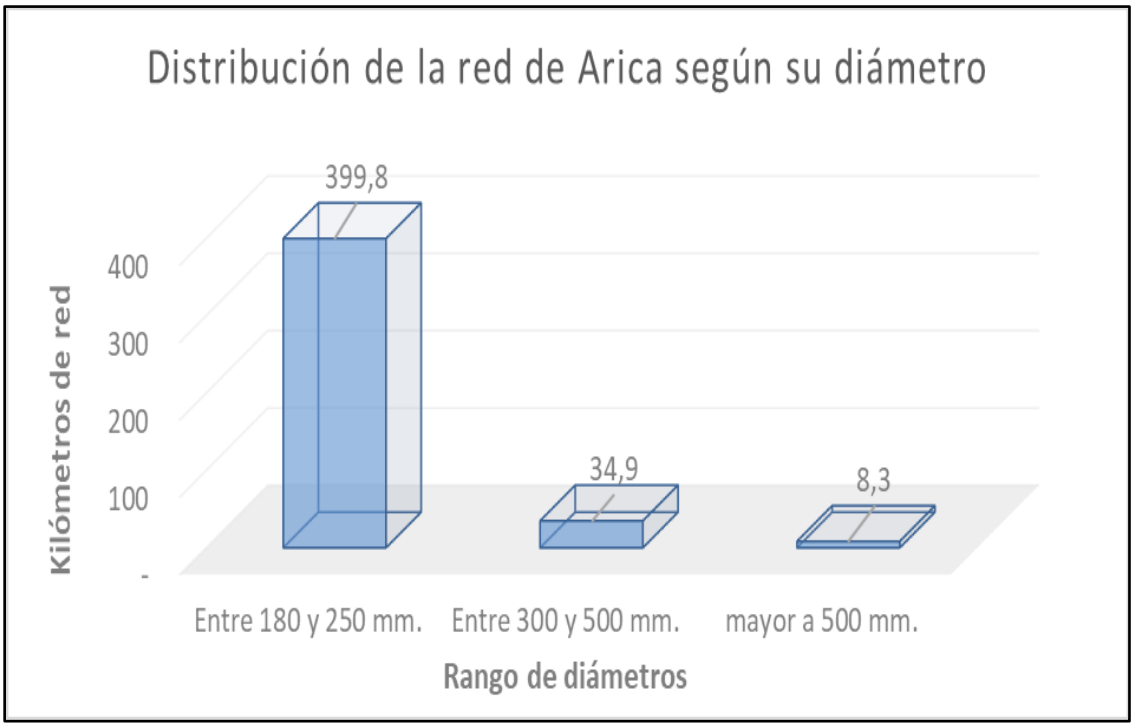


Figura 4-13: Distribución de la red de alcantarillado de Arica según su diámetro.

Fuente: generación propia, desarrollada con la base de datos de ArcGis.

En conjunto, estas características permiten definir al sujeto de estudio como un sistema de alcantarillado urbano con una alta proporción de infraestructura envejecida y vulnerable, donde la interacción entre materialidad, antigüedad y condiciones operacionales constituye un factor determinante en su desempeño y en la ocurrencia de fallas.

Para efectos del análisis del sistema, la red de alcantarillado es subdividida en unidades operativas denominadas ramales, definidos como tramos de red con una longitud promedio del orden de 500 metros. Esta sectorización permite establecer una unidad homogénea de evaluación, orientada principalmente al cálculo de indicadores de desempeño y a la planificación de programas de mantenimiento de colectores. En este contexto, cada ramal constituye la base para la estimación de métricas como tasas de obstrucción y frecuencia de fallas en función de su longitud, lo que permite comparar objetivamente distintos sectores de la red e identificar aquellos con mayor criticidad. Asimismo, esta segmentación facilita la focalización de intervenciones, permitiendo diseñar y ejecutar estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo de manera más eficiente, optimizando el uso de recursos disponibles y mejorando la gestión operativa del sistema.

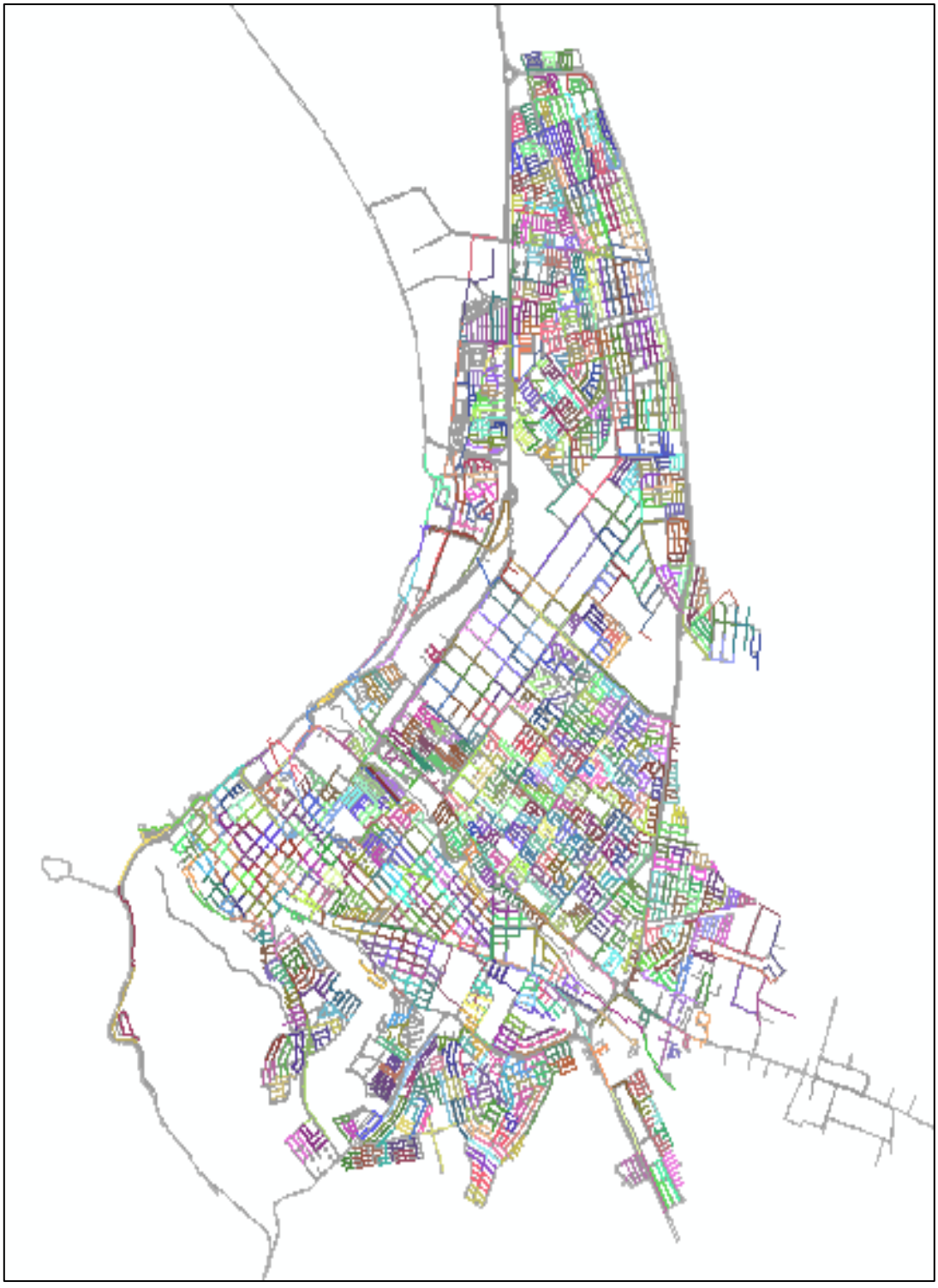


Figura 4-14: Redes de colectores de Arica, sectorizada y tematizada en ramales.

Fuente: Montero, 2023.

5. PROPUESTA METODOLÓGICA

En este capítulo se desarrolla la construcción del modelo de gestión aplicado a la red de alcantarillado de la ciudad de Arica, que se describe en concordancia con los objetivos específicos definidos mediante 6 etapas. Para ello, se aborda el proceso de integración y consolidación de las distintas fuentes de información disponibles, incluyendo antecedentes físicos de la infraestructura, registros operacionales, historial de discontinuidades y actividades de mantenimiento. A partir de esta base de datos integrada, se definen las variables e indicadores clave de desempeño (KPI) que permiten caracterizar el comportamiento y nivel de vulnerabilidad de cada colector.

Asimismo, el capítulo aborda la formulación de la matriz de criticidad, el proceso de estandarización y ponderación de variables, y la metodología utilizada para el cálculo del indicador final de criticidad. Finalmente, se desarrolla la etapa IV de validación y calibración operacional del modelo mediante la comparación de los resultados obtenidos con la evaluación realizada por personal especialista del área de redes, permitiendo ajustar las ponderaciones y mejorar la representatividad del modelo respecto del comportamiento real de la infraestructura sanitaria de Arica.

5.1. Descripción y tiempo de ejecución de las etapas

La metodología se estructura en seis etapas secuenciales, las cuales se encuentran directamente vinculadas con los objetivos específicos definidos en la investigación. La información se presenta bajo la siguiente estructura: Etapa, objetivos específicos a desarrollar en la etapa y descripción de la etapa.

ETAPA I: ESTADO DEL ARTE Y BASE CONCEPTUAL (19 semanas)

Objetivos específicos 1, 2 y 4.

1.- Conocer los documentos escritos de los diferentes sistemas del estado actual de la red de colectores urbanos
2.- Asociar los conocimientos adquiridos durante las clases del magister en gestión del agua aplicado a optimizar la red de colectores.
4.- Plantear el marco teórico fundamentándose en los objetivos específicos 1, 2 y 3.

La Etapa I tiene como propósito establecer las bases conceptuales, técnicas y metodológicas que sustentan el desarrollo de la investigación. Para ello, se realiza una revisión sistemática del estado del arte, integrando tanto literatura científica como normativa técnica y contenidos académicos del programa de Magíster en Gestión del Agua.

En esta fase se adopta un enfoque estructurado de revisión, orientado a identificar, analizar y sintetizar los principales modelos, metodologías y herramientas aplicadas a la gestión de redes de alcantarillado urbano, con especial énfasis en la gestión de

activos, modelos de deterioro, priorización de intervenciones y uso de tecnologías de inspección y rehabilitación. (Ver página de la pág. 23 a 30)

ETAPA II: DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN (3 semanas)

(Objetivo específico 3) sujeto de estudio

3.- Describir el sistema el sistema de información actualmente utilizado para la gestión de la red de colectores, refiriéndose especialmente a su nivel de confiabilidad, actualización y utilidad para la toma de decisiones.

La Etapa II tiene como propósito desarrollar un diagnóstico integral del sistema de información utilizado para la gestión de la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica. Esta etapa se enmarca en un diseño metodológico de tipo no experimental, transversal y descriptivo-explicativo, ya que se basa en el análisis de información existente sin manipulación de variables, permitiendo caracterizar el estado actual del sistema y comprender las causas asociadas a su desempeño.

El diagnóstico del sistema de información constituye un elemento clave en la investigación, dado que la calidad, disponibilidad e integración de los datos influyen directamente en la toma de decisiones, la planificación de inversiones y la gestión operativa de la infraestructura sanitaria. (Ver página de la pág. 23 a 30)

ETAPA III: CONSTRUCCIÓN DE BASE DE DATOS INTEGRADA (18 semanas)

(Objetivos específicos 5 y 6) propuesta metodológica

5.- Establecer una base de datos para caracterizar la infraestructura existente de la red de colectores urbanos de Arica, considerando antigüedad, materiales, diámetros, ubicación y condiciones estructurales

6.- Construir inventario del historial de fallas y emergencias sanitarias registradas en la red de colectores

La Etapa III tiene como propósito desarrollar una base de datos integrada y confiable, que permita caracterizar de manera detallada la infraestructura de la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica, así como su comportamiento operacional a lo largo del tiempo.

Esta etapa constituye el núcleo técnico de la investigación, ya que proporciona el insumo fundamental para el análisis posterior, permitiendo transitar desde una gestión basada en información dispersa hacia un enfoque estructurado y orientado a la toma de decisiones.

Se construye un marco teórico que permite identificar las principales variables que influyen en el desempeño de los sistemas de alcantarillado, tales como la probabilidad de falla, la consecuencia de falla y el riesgo asociado.

ETAP IV: DEFINICIÓN DEL MODELO (3 semanas)

(Objetivo específico 7) propuesta metodológica

7.- Definir herramientas tecnológicas y metodológicas (KPI's) modernas aplicadas a la gestión, inspección y rehabilitación de redes de alcantarillado, definiendo el posible modelo a utilizar.

Esta etapa tiene como propósito evaluar el sistema actual de información utilizado en la gestión de la red de colectores. Para ello, se realiza un levantamiento de las fuentes de información disponibles, tales como sistemas GIS, bases de datos operacionales, registros históricos de fallas y reportes de inspección televisiva (CCTV).

El análisis considera criterios de confiabilidad, actualización, integridad y utilidad para la toma de decisiones. Asimismo, se identifican las principales brechas de información que limitan la gestión eficiente de la infraestructura. Esta etapa consiste en la formulación del modelo de análisis que sustenta la toma de decisiones en la gestión de la red. El modelo incorpora indicadores clave de desempeño (KPI), tales como la tasa de obstrucciones, la frecuencia de fallas y el nivel de servicio.

El modelo integra herramientas de análisis multicriterio, permitiendo ponderar distintas variables técnicas, operacionales y socioambientales en la priorización de intervenciones. (Ver página de la pág. 23 a 30)

Adicionalmente, se desarrolla una matriz de criticidad, la cual permite clasificar los activos en función de su probabilidad de falla (determinada por variables como antigüedad, materialidad e historial de fallas) y la consecuencia de falla (relacionada con el impacto en usuarios, ubicación y relevancia del activo). (Ver página de la pág. 23 a 30)

ETAPA V: APLICACIÓN DEL MODELO (3 semanas)

(Objetivos específicos 8, 9 y 10) Aplicación metodológica

8.- Aplicar el modelo de gestión a los indicadores de desempeño, utilizando la herramienta definida sobre los datos analizados, para la gestión de la red de colectores, que permitan evaluar su funcionamiento y apoyar la toma de decisiones.

9.- Analizar el impacto de las fallas en la red de colectores sobre la continuidad del servicio sanitario y la percepción de los usuarios.

10.- Calcular los grados de vulnerabilidad de los colectores urbanos frente a factores externos como antigüedad, cargas hidráulicas, infiltración de aguas subterráneas y condiciones del suelo.

En esta etapa se aplica el modelo analítico a la red de colectores de la ciudad de Arica. Se calculan los indicadores de desempeño para cada unidad de análisis (ramales) y se determina su nivel de criticidad.

Asimismo, se analiza el impacto de las fallas sobre la continuidad del servicio sanitario y la percepción de los usuarios, estableciendo relaciones entre variables operacionales y niveles de desempeño.

De manera complementaria, se evalúa la vulnerabilidad de la infraestructura frente a factores externos, tales como la antigüedad de las tuberías, condiciones del suelo, infiltración de aguas subterráneas y cargas hidráulicas.

ETAPA VI: RESULTADOS Y PROPUESTA DE GESTIÓN (3 semanas)

(Objetivos específicos 11, 12, 13 y 14) Resultados, conclusiones y recomendaciones

11.- Establecer el potencial de optimización de las inversiones en la red de colectores urbanos mediante la aplicación del modelo de gestión desarrollado, considerando criterios técnicos, operacionales y de continuidad del servicio sanitario.

12.- Determinar la pertinencia de rehabilitación o renovación de acuerdo a las valoraciones previamente establecidas.

13.- Determinar la construcción de un modelo que reemplace las actuales prácticas de decisión para la planificación de inversiones en renovación y rehabilitación de colectores urbanos.

14.- Establecer un ranking de criterios de priorización para la inversión en la renovación y rehabilitación de colectores, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y la continuidad del servicio sanitario.

En la etapa final se desarrolla el modelo de gestión propuesto, integrando los resultados obtenidos en las etapas anteriores. Este modelo permite definir estrategias de intervención orientadas a la optimización de la inversión en renovación y rehabilitación de colectores.

Se establece un sistema de priorización basado en criterios técnicos, operacionales y de continuidad del servicio, permitiendo identificar los sectores de mayor criticidad.

Asimismo, se evalúa la pertinencia de aplicar distintas alternativas de intervención, tales como rehabilitación mediante tecnologías sin zanja o reemplazo mediante métodos tradicionales.

Finalmente, se propone un conjunto de criterios para la planificación de inversiones, orientados a mejorar la eficiencia operativa, prolongar la vida útil de la infraestructura y fortalecer la continuidad del servicio sanitario.

En la Figura 5-1 se presenta el cronograma de la tesina con el desarrollo de las etapas y objetivos específicos descrito:

Propuesta metodológica de trabajo			dic-26					ene-26				feb-26				mar-26				abr-26				may-26				jun-26		
fase	Objetivos	Duración (semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	Estado del arte	19																											
	Referencias Magister	19																											
	Marco Teórico	19																											
2	Sujeto de estudio	3																											
3	Establecer base datos	18																											
	Construir inventario fallas	18																											
4	Definir herramientas tecnológicas	3																											
5	Aplicar modelo de gestión	3																											
	Analizar impacto de fallas	3																											
6	Calcular vulnerabilidades red	3																											
	Establecer potencial de optimización	3																											
	Construcción del modelo	3																											
	Establecer ranking de criterios	3																											

Figura 5-1: Cronograma de propuesta metodológica.

Fuente: Elaboración propia.

La **Figura 5-2** presenta un mapa conceptual que sintetiza la estructura lógica y metodológica de la investigación. El esquema resume las principales etapas del estudio, desde la fundamentación teórica y la definición del problema hasta la aplicación de la metodología, la obtención de resultados y la formulación de conclusiones y recomendaciones, proporcionando una visión integral del proceso seguido para el desarrollo del modelo de gestión de la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica.

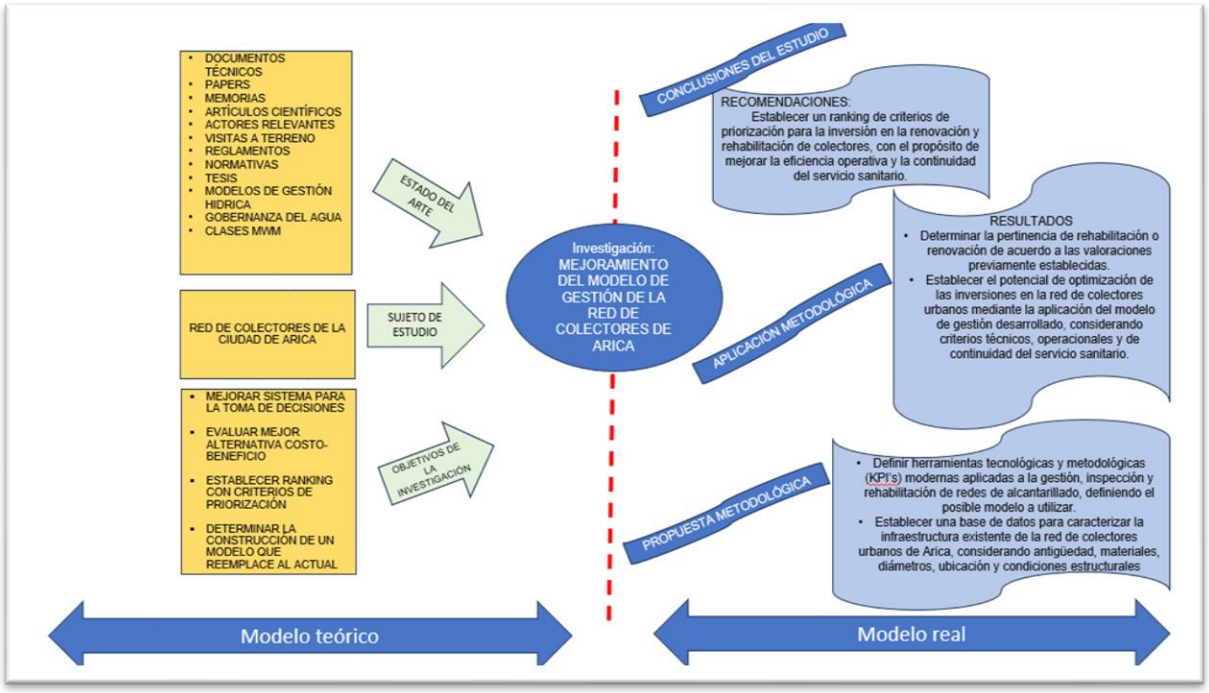


Figura 5-2: Mapa mental del estudio.

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Caracterización de las Fuentes de Información

El análisis del sistema de información de la empresa sanitaria permite identificar múltiples fuentes de datos, que abarcan desde los registros operacionales en terreno hasta los sistemas de reporte. En este contexto, se reconocen cuatro componentes principales que sustentan la gestión de la red de alcantarillado en la ciudad de Arica.

Estos sistemas presentan distintos niveles de integración, lo que permite capturar, procesar y georreferenciar eventos operacionales, transformando los registros en información útil para la toma de decisiones y la planificación del mantenimiento.

La identificación de estos componentes permite evaluar la capacidad del sistema para apoyar una gestión basada en condición y riesgo, así como vincular las características físicas de la red con su comportamiento operativo, constituyendo la base para la construcción de la matriz de criticidad propuesta.

5.2.1. El Catastro GIS como Base de Información de la red

El Sistema de Información Geográfica (GIS), implementado a través de plataformas como ArcMap y ArcGIS Web, constituye la fuente principal de información geoespacial de Aguas del Altiplano. este sistema permite estructurar la red de alcantarillado en unidades de análisis mediante la asignación de un identificador único (ID Colector) a cada tramo. Esta codificación es clave para integrar

información proveniente de distintas fuentes, asociando a cada segmento un historial operativo y técnico.

La base del sistema se encuentra en su tabla de atributos, donde se registran variables relevantes para el análisis de la red, tales como diámetro, longitud, pendiente, materialidad, estado operativo, ubicación por subcuenca y/o ramal. Estos datos permiten caracterizar la infraestructura y constituyen un insumo fundamental para la construcción de modelos de evaluación de riesgo. En el caso de Arica, el catastro registra una extensión aproximada de 442.994 metros de red, con una alta proporción de tuberías de cemento comprimido (44,6%), muchas de las cuales superan los 60 años de antigüedad, excediendo su vida útil técnica estimada.

Adicionalmente, el GIS permite realizar análisis espaciales que facilitan la gestión operativa de la red. Entre ellos, la sectorización en ramales de entre 500 y 1.000 metros, lo que contribuye a focalizar intervenciones y optimizar la planificación del mantenimiento. Asimismo, la integración de datos georreferenciados permite identificar patrones de fallas y zonas críticas, considerando variables como la topografía y el entorno urbano.

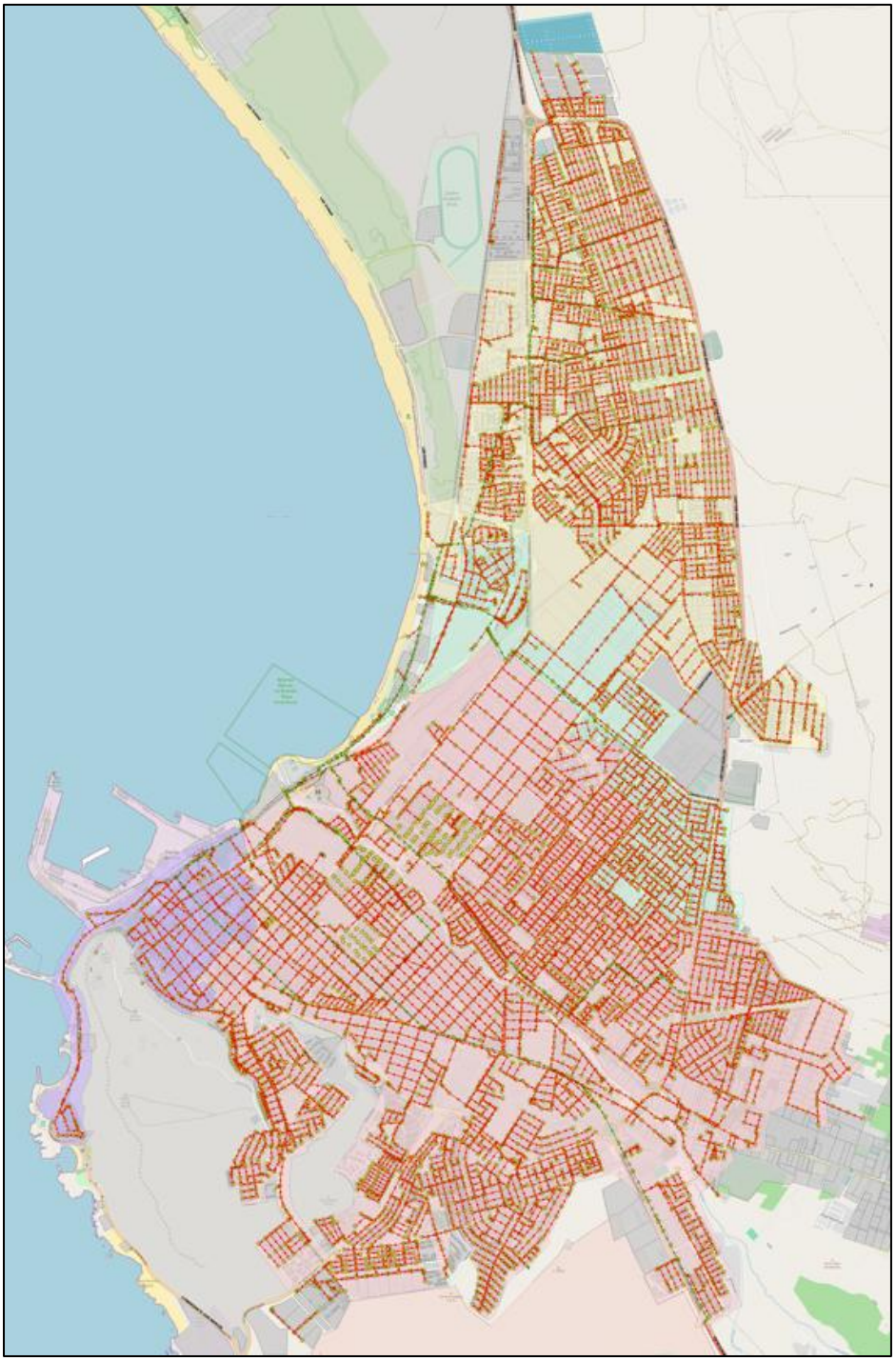


Figura 5-3: Sectorización de GIS de red de colectores de Arica.

Fuente: Gisweb (https://gis.aguasnuevas.cl/giswebsite/).

En este contexto, el GIS no solo cumple una función de registro, sino que actúa como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, al permitir organizar, analizar y visualizar información clave para la planificación de intervenciones en la red de alcantarillado.

5.2.2. El Sistema CRM: Registro de Eventos Operacionales de la Red

El Sistema de Atención a Clientes (CRM), **Figura 5-4,** constituye una fuente relevante para el análisis del desempeño de la red desde la perspectiva del usuario. Este sistema centraliza los requerimientos técnicos y reclamos, tanto de clientes externos como del personal operativo, permitiendo registrar eventos como malos olores, afloramientos de aguas servidas, obstrucciones y fallas, tanto en colectores como uniones domiciliarias.

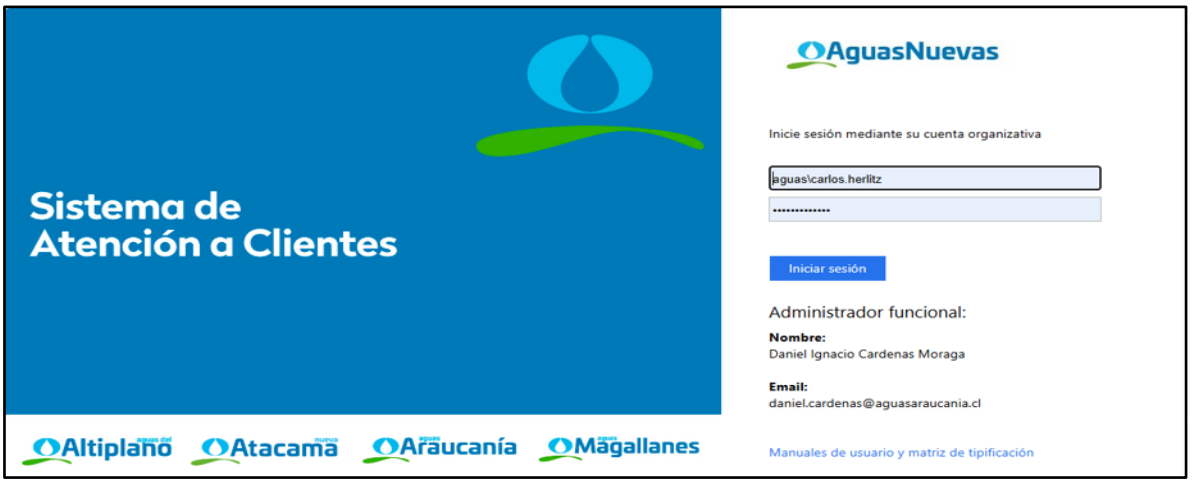


Figura 5-4: Página de inicio sistema CRM

Fuente: Plataforma web de atención a clientes Aguas Nuevas.

Cada requerimiento genera una Orden de Trabajo (OT), la cual actúa como identificador del evento a lo largo de su ciclo de atención. Este mecanismo permite asegurar la trazabilidad de las intervenciones, desde el registro inicial hasta su cierre, constituyendo un respaldo útil para procesos de control y análisis posterior.

El sistema registra distintas etapas del proceso, incluyendo la creación del requerimiento, el diagnóstico en terreno y la ejecución de la solución. En esta última fase se documentan las acciones realizadas, diferenciando entre actividades de mantenimiento, reparaciones puntuales o intervenciones de mayor envergadura. Adicionalmente, el cierre del requerimiento incorpora mecanismos de verificación y evaluación del servicio.

Desde el punto de vista analítico, el CRM permite consolidar información asociada a ubicación, tipo de evento, frecuencia y tipo de solución aplicada. Esto facilita la identificación de patrones de recurrencia en la red, complementando la información estructural del GIS. En este contexto, la recurrencia de eventos en un mismo sector puede ser utilizada como un indicador para la priorización de intervenciones dentro de la matriz de criticidad.

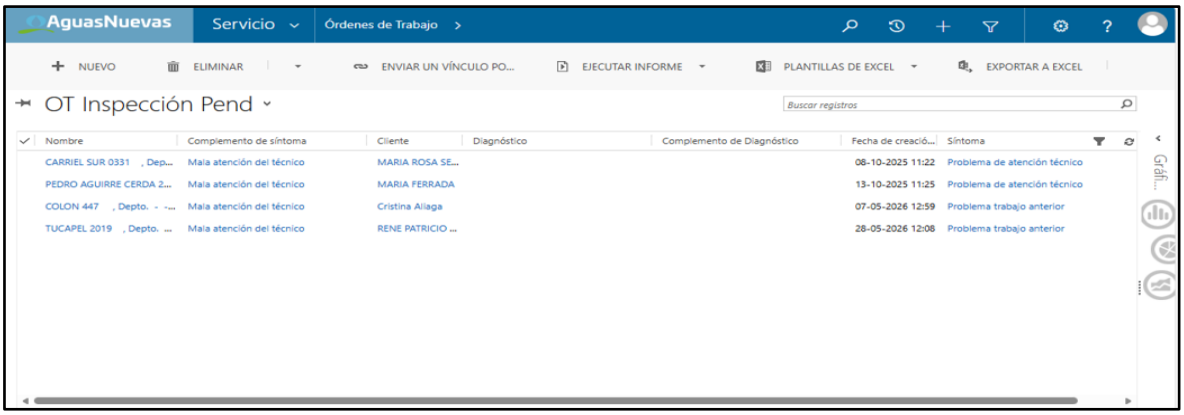


Figura 5-5: Página ingreso de datos a CRM

Fuente: Plataforma web de atención a clientes Aguas Nuevas.

5.2.3. Sistema Sipreco: Registro de Discontinuidades.

El Sistema de Presiones y Continuidad del Servicio (Sipreco) constituye una base de datos destinada al registro y gestión de discontinuidades en la red de Aguas del Altiplano. Este sistema procesa la información operativa proveniente del CRM, transformándola en registros estructurados que cumplen con los requerimientos normativos, particularmente para el protocolo PR013 exigido por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Sipreco se integra directamente con el CRM: mientras este último captura los requerimientos iniciales, Sipreco permite validar y formalizar los eventos que corresponden a discontinuidades reales. En este contexto, se consideran discontinuidades aquellas fallas u obstrucciones que afectan colectores públicos o uniones domiciliarias, independientemente de si generan afloramientos visibles.

La administración del sistema recae en los jefes de unidad de cada zona, quienes revisan y validan cada caso antes de su registro definitivo. Este proceso asegura la correcta vinculación del evento con el identificador del colector en el GIS y su clasificación según los criterios establecidos por el regulador: fallas en unión domiciliaria (códigos 1 y 4) y fallas en colector público (códigos 2 y 3).

Al consolidar información como órdenes de trabajo, ubicación, tiempos de respuesta y número de clientes afectados, Sipreco permite estructurar un catastro confiable de fallas. Para esta investigación, estos datos constituyen un insumo clave para el cálculo de indicadores de obstrucciones y fallas, facilitando la identificación de sectores con mayor recurrencia de eventos y apoyando la priorización de intervenciones dentro de la matriz de criticidad.

5.2.4. Fieldmaps y Survey: Visualización y registro de datos en terreno

En el nivel operativo, la captura de datos y la interacción directa con la infraestructura se realizan mediante aplicaciones móviles del entorno ESRI,

principalmente ArcGIS Field Maps (Figura 5-6) y Survey123. Estas herramientas permiten vincular las actividades en terreno con los sistemas de información centralizados de Aguas del Altiplano.

Field Maps funciona como una interfaz cartográfica que permite a las cuadrillas acceder al catastro de la red de alcantarillado desde dispositivos móviles, visualizando información técnica relevante como diámetro, materialidad y longitud de los tramos, la cual es un fiel reflejo de la información catastral de GIS. Asimismo, facilita la identificación de sectores con antecedentes de fallas, lo que contribuye a una ejecución más segura de las labores operativas.

Por su parte, Survey123 permite el registro estructurado de información en terreno mediante formularios digitales. Estos formularios pueden ser desplegados directamente desde Field Maps, incorporando datos precargados del activo, como su identificador y ubicación, lo que reduce errores de digitación y mejora la consistencia de los registros. A través de este sistema se documentan variables relevantes para el análisis, tales como el tipo de obstrucción, el estado hidráulico y el registro fotográfico de las intervenciones.

La integración de estas herramientas permite generar bases de datos actualizadas que registran las mantenciones de colector realizadas por el camión combinado. Para esta investigación, esta información constituye un insumo clave para el seguimiento de indicadores de mantenimiento y para la construcción de variables asociadas a la condición de los ramales. En este contexto, la digitalización de los procesos en terreno contribuye a mejorar la calidad y oportunidad de los datos utilizados en la matriz de criticidad.



Figura 5-6: Página de inicio ArcGis Fieldamps

Fuente: Aplicación de PamStore de Microsoft).

5.3. Integración y Estandarización de Datos

Este apartado describe el proceso de integración y depuración de las principales fuentes de información utilizadas en la investigación, correspondientes al GIS, CRM, Sipreco y las plataformas móviles Field Maps y Survey123. El objetivo de esta etapa es consolidar la información operativa y técnica en una base de datos única, consistente y trazable, que permita analizar de manera integrada el comportamiento de la red de alcantarillado de la ciudad de Arica.

El eje central de esta metodología corresponde al uso del Código Único de Colector (ID Colector) como identificador común entre los distintos sistemas. Esta codificación permite vincular cada tramo de la red con su historial de fallas, inspecciones y actividades de mantenimiento. Como parte del proceso, la información fue depurada y estandarizada mediante la consolidación de registros, se revisaron inconsistencias de codificación y diferencias de formato entre las plataformas, con el fin de asegurar la integridad y confiabilidad de los datos utilizados, todo esto para desarrollar la construcción de indicadores y la matriz de criticidad propuesta en este estudio.

5.3.1. Caracterización Física de la Red

La caracterización física de la red de alcantarillado de Arica constituye la base para el desarrollo del modelo de gestión propuesto. La información utilizada en esta etapa proviene del Sistema de Información Geográfica (GIS) de la compañía, el cual centraliza los antecedentes técnicos y espaciales de la infraestructura sanitaria. El objetivo de este análisis es identificar las principales características constructivas y operacionales de la red, considerando que variables como materialidad, antigüedad, diámetro y configuración geométrica influyen directamente en el comportamiento y desempeño de los colectores.

Dentro de esta estructura de datos, el Código Único de Colector (ID Colector) corresponde al identificador principal utilizado para integrar la información proveniente de las distintas plataformas analizadas. Este código permite vincular cada tramo de la red con registros de fallas en Sipreco, órdenes de trabajo del CRM y antecedentes operacionales obtenidos mediante Field Maps y Survey123. La utilización de este identificador facilita la trazabilidad de la información y permite relacionar atributos físicos de la infraestructura con su historial operativo.

A partir de los antecedentes obtenidos desde el GIS, se caracteriza la red pública de alcantarillado de Arica, la cual posee una longitud aproximada de 444 kilómetros. La base de datos permite clasificar la infraestructura según materialidad, diámetro, antigüedad y estado operativo. En este contexto, destaca que aproximadamente el 45% de la red corresponde a tuberías de cemento comprimido, muchas de las cuales superan su vida útil técnica estimada. Asimismo, la incorporación de variables geométricas y espaciales, como longitud, pendiente y ubicación, permite

complementar el análisis de la red y apoyar la identificación de sectores con mayor susceptibilidad a fallas operacionales.

5.3.2. Integración de Condiciones Operacionales y Comportamiento Histórico de la Red

Una vez realizada la caracterización física de la red, la investigación incorpora las condiciones operacionales mediante el análisis del comportamiento histórico de los activos. Para ello, se utiliza como fuente principal la base de datos Sipreco, la cual contiene el registro de discontinuidades ocurridas en la red de alcantarillado. Esta integración permite complementar las variables físicas de los colectores con antecedentes asociados a su desempeño operacional.

La vinculación de la información se realiza utilizando el ID Colector como identificador común entre las distintas bases de datos, permitiendo asociar a cada tramo un historial de eventos operacionales previamente validados por el encargado de cada zona. En este contexto, las discontinuidades fueron clasificadas en dos categorías principales: obstrucciones y fallas estructurales. Las obstrucciones corresponden a eventos asociados a acumulación de sedimentos, grasas u otros elementos que afectan el escurrimiento, mientras que las fallas estructurales se relacionan con pérdidas de integridad física de la tubería. Asimismo, el análisis considera la recurrencia de eventos, entendiendo que un mismo colector puede registrar múltiples discontinuidades antes de ser intervenido o renovado.

Para estructurar esta información dentro de la base de datos integrada, se incorporaron tres variables operacionales asociadas a cada activo:

- **Obstrucciones:** cantidad acumulada de eventos de taponamiento registrados en el tramo.
- **Fallas:** número de eventos asociados a colapsos o roturas estructurales del colector.
- **Afloramientos:** registro de eventos que derivaron en salida de aguas servidas hacia la vía pública o propiedades privadas.

La incorporación de estas variables permite complementar el análisis físico de la red con indicadores asociados a la frecuencia y severidad de los eventos operacionales. De esta forma, la base de datos consolidada sirve como insumo para la construcción de la matriz de criticidad, permitiendo priorizar sectores con mayor recurrencia de fallas y mayor impacto operacional.

5.3.3. Gestión Operativa de la Red: Mantenciones Preventivas y Correctivas

El último componente de la base de datos integrada corresponde a la gestión operativa de la red, la cual registra las actividades de mantenimiento ejecutadas sobre la infraestructura sanitaria. En la ciudad de Arica, estas labores se realizan

principalmente mediante camiones combinados de limpieza de alcantarillado, equipos que utilizan sistemas de hidrojet y succión para remover sedimentos, obstrucciones y residuos acumulados en los colectores.

La información generada durante estas intervenciones es incorporada al modelo mediante tres categorías operacionales principales, las cuales permiten caracterizar el nivel de mantenimiento requerido por cada sector de la red:

- **Mantenciones preventivas:** corresponden a limpiezas programadas bajo esquemas periódicos de mantenimiento, orientados a mantener las condiciones hidráulicas de operación de los colectores. Estas actividades son planificadas y monitoreadas mediante plataformas GIS.
- **Mantenciones correctivas:** corresponden a intervenciones no programadas ejecutadas ante eventos de obstrucción, disminución de capacidad hidráulica u otras anomalías operacionales detectadas en terreno.
- **Succiones de cámara y contingencias estructurales:** consideran intervenciones asociadas a eventos de mayor complejidad operacional, generalmente vinculados a daños estructurales o condiciones que requieren mantener el funcionamiento temporal del sistema mientras se ejecutan soluciones definitivas.

El registro de estas actividades se realiza mediante la plataforma móvil Survey123, utilizada por los operadores en terreno para documentar las intervenciones ejecutadas. Posteriormente, esta información es vinculada al ID Colector e incorporada a la base de datos integrada dentro de las herramientas de ArcGIS. La inclusión de estas variables permite complementar el análisis de criticidad mediante indicadores asociados a la intensidad de mantenimiento requerida por cada tramo de la red, facilitando la identificación de sectores con alta recurrencia operacional y potencial necesidad de renovación o rehabilitación.

5.4. Formulación de la Matriz de Criticidad Integrada

La propuesta metodológica se basa en la construcción de una matriz de criticidad orientada a priorizar intervenciones en la red de alcantarillado de la ciudad de Arica. El modelo integra variables físicas y operacionales, permitiendo evaluar el nivel de riesgo asociado a cada activo de manera individual mediante el uso del ID Colector como unidad de análisis. Este enfoque evita agregaciones prematuras por sectores o ramales, facilitando una evaluación más detallada del comportamiento de cada tramo de la red.

La metodología contempla una etapa posterior de validación operacional, en la cual los resultados obtenidos y las ponderaciones asignadas serán revisados junto a profesionales del área de redes de Aguas del Altiplano. Este proceso permitirá

ajustar el modelo de acuerdo con la experiencia operacional y las condiciones reales de funcionamiento observadas en terreno.

5.4.1. Estandarización y Clasificación de Variables

Debido a que la base de datos integrada contiene variables con distintas unidades y escalas de medición, fue necesario desarrollar un proceso de estandarización para homogenizar los criterios de evaluación. Para ello, cada variable fue clasificada mediante una escala discreta de 0 a 10, donde el valor 0 representa la condición de menor criticidad y el valor 10 corresponde a la condición de mayor riesgo operacional o estructural, los valores son presentados y resumidos en las tablas desde la Tabla 5-1a la Tabla 5-8

Esta clasificación permite comparar variables de distinta naturaleza bajo una misma lógica de evaluación. Por ejemplo, colectores con alta antigüedad o elevados niveles de recurrencia de obstrucciones reciben puntajes cercanos a 10, mientras que activos con baja recurrencia de eventos y mejores condiciones físicas obtienen valores cercanos a 0.

Tabla 5-1: Valores asignados a cada colector, según su rango de edad catastrado en GIS

Rango de edad	Valor asignado
más de 60 años	10
entre 30 y 59 años	7
Entre 10 y 29 años	4
Menos de 10 años	0
Sin información	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-2: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de obstrucciones registradas

Rango de obstrucciones	Valor asignado
4 o más	10
3	6
2	4
1	2
0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-3: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de obstrucciones registradas por fatiga de material.

Rango de fallas	Valor asignado
4 o más	10
3	7
2	5
1	3
0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-4: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de afloramientos de aguas servidas registrados.

Rango de afloramientos	Valor asignado
4 o más	10
3	6
2	4
1	2
0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-5: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de mantenciones preventivas y correctivas registradas.

Rango de mantenciones	Valor asignado
8 o más	10
7	8
6	7
5	6
4	5
3	4
2	3
1	2
0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-6: Valores asignados a cada colector, según la cantidad de succiones de cámara registradas.

Rango de succiones	Valor asignado
10 o más	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1
0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-7: Valores asignados a cada colector, según su materialidad.

Materialidad	Valor asignado
Cemento	10
PVC	4
Acero	0
HDPE	6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-8: Valores asignados a cada colector, según su diámetro.

Materialidad	Valor asignado
Diámetro	3
Entre 180 y 250	6
Entre 250 y 500	10
Mayor a 500	0

Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Ponderación de Variables del Modelo

Una vez estandarizadas las variables, el modelo incorpora una etapa de ponderación orientada a representar la influencia relativa de cada atributo dentro del nivel de criticidad final del activo. La distribución de pesos fue definida

considerando criterios operacionales, experiencia técnica y la relevancia observada de cada variable en el comportamiento histórico de la red.

La ponderación utilizada en la matriz integrada se distribuye de la siguiente manera:

Tabla 5-9: Ponderación utilizada para la matriz integrada.

Categoría	Valor asignado
Antigüedad	7,0
Obstrucciones	7,0
Fallas	10,0
Afloramientos	7,0
Mantenciones	6,0
Succiones	10,0
Materialidad	8,0
Diámetro	5,0

Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Cálculo del Indicador Final de Criticidad

El indicador final de criticidad se obtiene mediante la sumatoria ponderada entre la calificación estandarizada de cada variable y su respectivo peso porcentual dentro del modelo. Posteriormente, el resultado es presentado en una escala final de 1,0 a 10,0 para facilitar su interpretación y comparación entre activos.

En esta escala, valores cercanos a 1 representan colectores con bajo nivel de criticidad y menor requerimiento de intervención, mientras que valores cercanos a 10 corresponden a activos con alta recurrencia de eventos, mayor impacto operacional y mayor probabilidad de requerir inspección, rehabilitación o renovación prioritaria.

5.4.4. Metodología de Calibración e Iteración de Ponderaciones

Una vez obtenidas las evaluaciones realizadas por el personal especialista, se desarrolló una etapa de calibración orientada a ajustar el comportamiento del modelo preliminar de criticidad. El propósito de este proceso fue disminuir las diferencias entre los resultados entregados por la matriz inicial y la percepción técnica del personal operativo, buscando que el indicador final representara de manera más precisa las condiciones reales de funcionamiento de la red de alcantarillado de Arica.

5.4.5. Homogeneización del Criterio Experto

Con el objetivo de integrar las distintas evaluaciones técnicas obtenidas durante la validación operacional, se realizó un proceso de consolidación de las calificaciones

asignadas por los tres perfiles participantes: operadores de camión combinado, inspectores de redes de aguas servidas y equipo de inspección televisiva (CCTV).

Para cada colector evaluado, se calculó la media aritmética de las tres calificaciones obtenidas. La utilización de esta medida de tendencia central se fundamentó en la baja dispersión observada entre las evaluaciones de los distintos especialistas, evidenciando un nivel adecuado de concordancia técnica respecto del comportamiento y criticidad de los activos analizados.

El promedio resultante permitió construir un indicador de referencia asociado al "criterio experto" del área de redes, el cual fue utilizado como base comparativa para evaluar el desempeño del modelo preliminar de criticidad.

5.4.6. Proceso Iterativo de Ajuste de Ponderaciones

La etapa de calibración consistió en comparar los resultados obtenidos por el modelo preliminar con las evaluaciones promedio entregadas por el personal especialista. A partir de esta comparación, se identificaron diferencias entre la criticidad estimada por la matriz y la criticidad percibida operacionalmente en terreno.

Con el fin de reducir estas diferencias, se desarrolló un proceso iterativo de ajuste de ponderaciones, mediante el cual se modificó progresivamente la influencia relativa de las distintas variables consideradas en el modelo, tales como obstrucciones, antigüedad, ubicación, afloramientos y fallas estructurales.

El procedimiento consideró las siguientes etapas:

- Ajuste de los pesos porcentuales asociados a las variables del modelo.
- Recalculo del indicador final de criticidad para los 125 colectores analizados.
- Comparación de los nuevos resultados con las evaluaciones promedio del personal especialista.
- Revisión de las diferencias observadas y ajuste sucesivo de ponderaciones.

Este proceso fue repetido de manera iterativa hasta obtener un nivel de concordancia satisfactorio entre los resultados del modelo y el criterio técnico de los especialistas de redes. Como resultado, se definió una ponderación final ajustada a las condiciones operacionales reales de la red de alcantarillado de Arica, fortaleciendo la capacidad del modelo para priorizar intervenciones de manera consistente con la experiencia de terreno (Tabla 5-10 y Figura 5-7).

Tabla 5-10: Ponderación final, luego del proceso iterativo basada en la observación del personal especialista.

Categoría	Valor asignado
Valor Antigüedad	10,0
Valor obstrucciones	10,0
Valor Fallas	6,3
Valor Afloramientos	4,2
Valor Mantenciones	3,4
Valor Succiones	3,0
Valor material	6,1
Valor diámetro	5,8

Fuente: Elaboración propia.

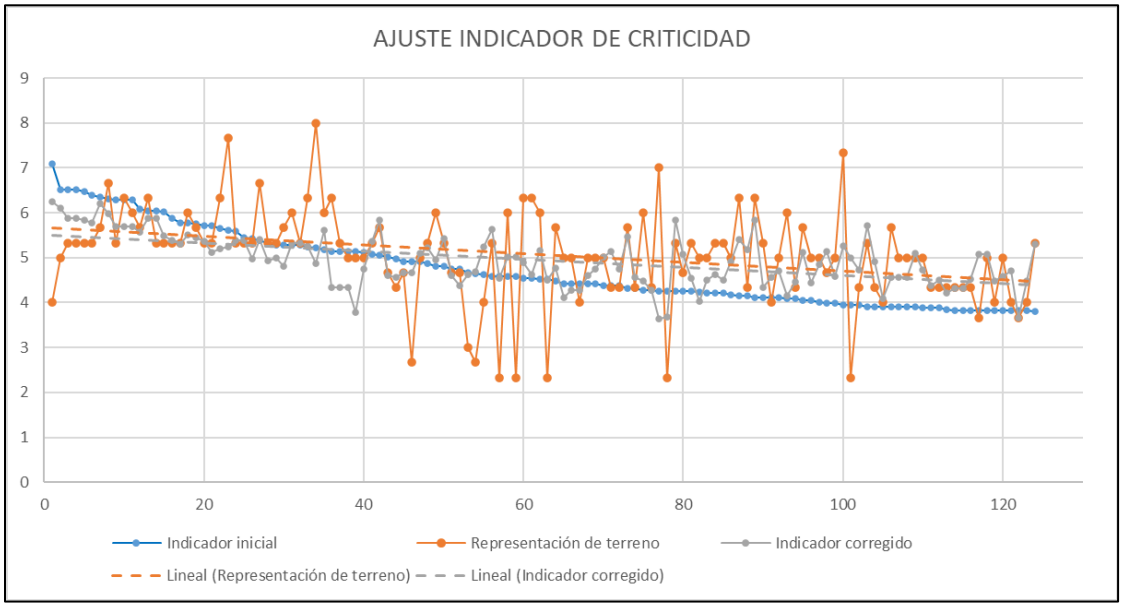


Figura 5-7: Gráfico de ajuste de indicador, asimilando la curva a la representada por el personal experto.

Fuente: Elaboración propia.

6. APLICACIÓN METODOLÓGICA

6.1. El Ramal como Unidad de Gestión Operativa

En este apartado se describe la metodología de sectorización utilizada para transformar el análisis individual de colectores en una estrategia de gestión operacional aplicable a la red de alcantarillado de la ciudad de Arica. Si bien el modelo de criticidad evalúa cada activo de manera independiente mediante el identificador único *ID Colector*, la planificación de intervenciones requiere una escala de análisis compatible con la ejecución real de obras y actividades de mantenimiento.

Bajo este enfoque, los colectores son agrupados en ramales, permitiendo consolidar tramos con características físicas y comportamientos operativos similares dentro de una misma unidad de gestión. Esta metodología facilita la priorización de inversiones, optimiza la planificación de trabajos en terreno y permite alinear los resultados del modelo de criticidad con criterios constructivos, operacionales y logísticos propios de la gestión sanitaria.

De esta forma, la sectorización permite transformar los resultados obtenidos a nivel individual en proyectos de intervención técnicamente ejecutables, facilitando la toma de decisiones asociadas a mantenimiento, rehabilitación y renovación de la infraestructura.

6.1.1. Definición del ramal

La red de alcantarillado de la ciudad de Arica cuenta con una extensión total de 442.994 metros, según el catastro GIS de Aguas del Altiplano (Figura 6-1). Para facilitar su gestión operacional y análisis técnico, esta infraestructura es subdividida en unidades homogéneas denominadas ramales, los cuales agrupan tramos continuos de colectores en extensiones promedio cercanas a los 500 metros.

Este enfoque metodológico, alineado con lo planteado por investigaciones anteriores, permite organizar la red no como un conjunto de tuberías independientes, sino como unidades funcionales asociadas a un comportamiento hidráulico y a un entorno urbano común. Cada ramal representa una unidad operacional vinculada generalmente a una calle, sector o cuenca específica dentro de la ciudad, facilitando la identificación de patrones de falla y la zonificación de sectores con mayor nivel de vulnerabilidad dentro del sistema de recolección de aguas servidas (Montero, 2023).

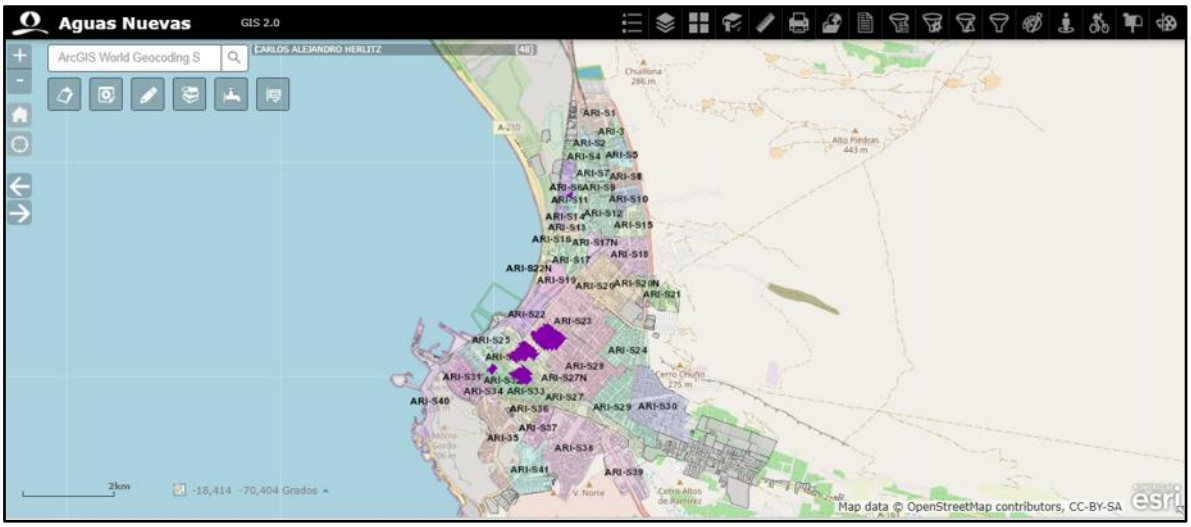


Figura 6-1: Mapa de ArcgisWeb de la ciudad de Arica, dentro de las cuales se encuentran las subcuencas.

Fuente: Arcgis web (https://gis.aguasnuevas.cl/giswebsite/)

6.1.2. Cálculo del indicador por ramales

Una vez obtenido el indicador final de criticidad para cada colector individual, expresado en una escala de 1 a 10, se procede a su agregación a nivel de ramal con el objetivo de representar el comportamiento global de cada sector operacional de la red. Para ello, no resulta metodológicamente adecuado utilizar un promedio aritmético simple, ya que los colectores de menor longitud podrían distorsionar la representatividad del resultado final del ramal.

Con el fin de evitar este sesgo, se implementa un promedio ponderado por longitud, donde la influencia de cada colector dentro del indicador final del ramal es proporcional a su extensión física dentro de la red. De esta manera, los tramos de mayor longitud adquieren una participación más representativa en la evaluación del riesgo global del sector.

$$CR = \frac{\sum_{i=1}^{n}(I_i \cdot L_i)}{\sum_{i=1}^{n} L_i}$$

Donde:

- I_i : Es el factor operacional o indicador final del colector i (en escala de 1,0 a 10,0).
- L_i: Es la longitud en metros del colector i, obtenida directamente desde la tabla de atributos del GIS.

- n: Es el número total de colectores individuales que integran el ramal evaluado.

El valor resultante (CR) se expresa en la misma escala de 1 a 10, donde valores cercanos a 1 representan sectores con bajo nivel de criticidad, mientras que valores próximos a 10 indican ramales con alta vulnerabilidad operacional y estructural. Este indicador permite jerarquizar los distintos sectores de la ciudad según su nivel de riesgo, facilitando la priorización de intervenciones de mantenimiento, rehabilitación y renovación de infraestructura.

6.1.3. Justificación Técnica y Operacional de la Gestión por Ramales

La adopción del ramal como unidad de intervención, en reemplazo de reparaciones puntuales o intervenciones aisladas, responde a criterios de eficiencia técnica, económica y operacional. Este enfoque permite que la planificación de inversiones se ajuste con la realidad constructiva y logística de la red de alcantarillado de la ciudad de Arica, favoreciendo intervenciones integrales sobre sectores con comportamiento crítico homogéneo.

Uno de los principales beneficios de esta metodología corresponde a la optimización de los costos asociados a la reposición de pavimentos. En proyectos ejecutados mediante zanja abierta, gran parte del costo total de intervención se concentra en la excavación y reconstrucción de calzadas y aceras. En este contexto, intervenir un ramal completo permite concentrar las obras en un único proceso constructivo, reduciendo significativamente los costos unitarios por metro lineal en comparación con intervenciones fragmentadas y recurrentes sobre un mismo sector.

Adicionalmente, la planificación de obras por sectores continuos permite generar economías de escala tanto en proyectos de renovación convencional como en la aplicación de tecnologías sin zanja, optimizando recursos asociados a maquinaria, logística operacional y tiempos de ejecución. A su vez, este enfoque contribuye a disminuir el impacto social de las obras sanitarias, reduciendo la repetición de excavaciones, cortes de tránsito y molestias a la comunidad, mediante intervenciones programadas e integrales sobre sectores previamente priorizados por el modelo de criticidad.

6.2. Cálculo del Indicador por Ramales y Selección de Sectores Críticos.

Una vez calculado el indicador de criticidad para cada colector de la red, se realizó el análisis por sectores, utilizando un promedio ponderado por longitud para consolidar los resultados a nivel de ramal. Este proceso permitió transformar la evaluación individual de los activos en una medida representativa del comportamiento de sectores acotados de la red de alcantarillado de Arica, facilitando su interpretación desde una perspectiva operacional y de planificación de inversiones.

El objetivo de esta etapa fue identificar aquellos ramales donde la combinación de factores físicos y operacionales genera mayores niveles de vulnerabilidad para la continuidad del servicio. Para ello, los ramales fueron ordenados de mayor a menor criticidad, obteniéndose un ranking preliminar que constituye la base para la priorización de inspecciones, estudios y futuras intervenciones de renovación o rehabilitación.

Posteriormente, y en concordancia con la metodología de validación definida en el Capítulo 5, se seleccionaron los activos ubicados en el tramo de peor desempeño del ranking. Como criterio se consideraron los ramales con peor desempeño ponderado, pertenecientes a los sectores más críticos de la red.

La Tabla 6.1 presenta los diez ramales con mayor criticidad obtenidos en la primera ejecución del modelo.

Tabla 6-1: Ponderación final, se identifican los ramales con peor desempeño

Identificador del Ramal	Resultado Indicador
RR-051	4,10
DP-109	3,91
RR-047	3,69
DP-118	3,57
PS-078	3,56
PS-173	3,52
PN-227	3,51
PN-214	3,46
PS-214	3,42
PS-255	3,38

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que los ramales RR-051 y DP-109 presentan los niveles más elevados de criticidad dentro de la red analizada, constituyéndose como las principales prioridades técnicas identificadas. Si bien los valores obtenidos se sitúan en un rango medio dentro de la escala teórica de 1 a 10, representan los mayores niveles de riesgo relativo observados en la red de Arica y permiten discriminar aquellos sectores que requieren una evaluación más detallada.

6.3. Identificación y Caracterización de los Ramales Críticos

Una vez aplicado el modelo de criticidad multicriterio y calculado el indicador agregado para cada ramal mediante el promedio ponderado por longitud, se procedió a ordenar la red de alcantarillado de Arica según su nivel de criticidad. Este proceso permitió identificar los sectores que presentan las mayores condiciones de riesgo operacional y estructural dentro de la red analizada.

Para profundizar el análisis y evaluar el comportamiento de los activos más relevantes, se seleccionaron los cuatro ramales que obtuvieron las calificaciones más elevadas en el ranking de criticidad: RR-051, DP-109, RR-047 y DP-118. Estos sectores concentran una combinación de factores asociados al deterioro de la infraestructura, la recurrencia de eventos operacionales y las condiciones propias de su entorno.

La caracterización detallada de estos ramales permite comprender los elementos que explican su posición dentro del ranking y constituye la base técnica para la priorización de futuras intervenciones de mantenimiento, rehabilitación o renovación. Asimismo, este análisis proporciona evidencia para orientar la planificación de inversiones hacia aquellos sectores donde la mejora de la infraestructura puede generar un mayor impacto en la continuidad y confiabilidad del servicio de alcantarillado.

6.3.1. Ramal RR-051 (Indicador de Criticidad: 4,10)

Este ramal lidera el ranking de criticidad de la red de colectores públicos de la ciudad de Arica. Su posición prioritaria responde a una combinación severa de obsolescencia estructural y fatiga operativa acumulada en las bases de datos.

- **Características físicas y geometría:** Posee una extensión continua que promedia los rangos secundarios de transporte, con diámetros predominantemente concentrados entre los 180 y 250 mm.

- **Materialidad y antigüedad:** Está compuesto en su totalidad por tuberías de cemento comprimido que superan los 60 años de servicio activo. Al haber rebasado con creces su vida útil de diseño (estimada entre 50 y 60 años), el conducto se sitúa en una fase terminal de degradación.

- **Comportamiento operacional e impacto:** Es el ramal que en promedio registra la mayor cantidad de obstrucciones y fallas, lo que se observa al tener 4 colectores con indicador sobre 5.

Las características físicas de la red, como su ubicación, longitud, diámetro, materialidad y antigüedad son obtenidos desde Gisweb, tal como se muestra en la Figura 6-2. Finalmente, todos los atributos de cada elemento de colector que pertenece al ramal, es presentado en la Tabla 6-2, donde se aprecia además el indicador obtenido por cada tramo de colector.

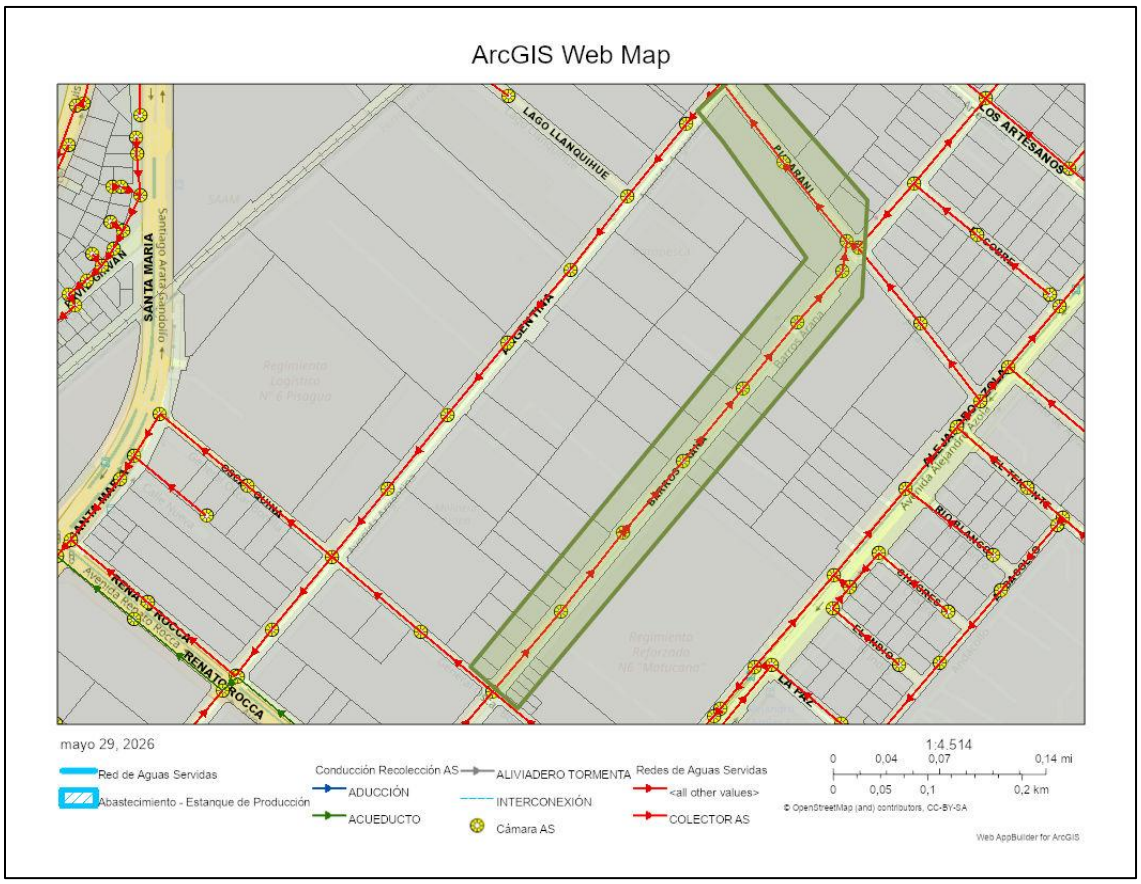


Figura 6-2: Georreferenciación del Ramal RR-051.

Fuente: Elaborado con Arcgis Web

Tabla 6-2: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal RR-051.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Antigüedad	Indicador del tramo
COL-033656	Barros Arana	Av. Alejandro Azola	Pucarani	250	CC	59,7	más de 60 años	6,52
COL-033638	Pucarani	Barros Arana	Av. Argentina	350	CC	97,7	más de 60 años	6,03
COL-033656	Barros Arana	Av. Alejandro Azola	Pucarani	200	PVC	40,0	más de 60 años	5,72
COL-033655	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	CC	90,9	más de 60 años	5,65
COL-033637	Av. Argentina	Pucarani	Pucarani	350	CC	107,3	más de 60 años	3,33
COL-033657	Av. Alejandro Azola	Barros Arana	Barros Arana	250	CC	87,0	más de 60 años	3,28
COL-033654	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	CC	71,8	más de 60 años	3,08
COL-033658	Barros Arana	Oscar Quina	Av. Alejandro Azola	250	PVC	104,9	más de 60 años	2,28
N/A	Pucarani	Barros Arana	Av. Argentina	350	PVC	10,0	más de 60 años	2,20
COL-057364	Av. Alejandro Azola	Barros Arana	Barros Arana	200	PVC	6,0	más de 60 años	1,95
COL-033643	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	PVC	31,5	Entre 10 y 29 años	1,25

Fuente: Base de datos de Gisweb.

6.3.2. Ramal DP-109 (Indicador de Criticidad: 3,91)

El ramal DP-109 corresponde al segundo sector con mayor nivel de criticidad identificado por el modelo. Su relevancia radica no solo en las condiciones de la infraestructura, sino también en su ubicación dentro de un eje urbano de alta circulación vehicular y actividad comercial, donde una eventual discontinuidad del servicio podría generar impactos significativos tanto en la operación sanitaria como en el entorno urbano.

- **Características físicas y geométricas**: El ramal está compuesto por colectores de diámetros compatibles con la recolección de aguas servidas domiciliarias y secundarias, formando parte de una zona con alta demanda de servicio dentro de la red de alcantarillado de la ciudad.

- **Materialidad y antigüedad:** La infraestructura presenta una importante presencia de tuberías de cemento comprimido instaladas hace varias décadas, las cuales han estado expuestas de forma prolongada a procesos de deterioro asociados al envejecimiento del material y a la acción de gases corrosivos presentes en el sistema de alcantarillado.

- **Comportamiento operacional e impacto:** El historial operacional del ramal registra eventos recurrentes de obstrucción y contingencias que han requerido intervenciones correctivas y labores de succión de cámaras. Esta recurrencia, sumada a la antigüedad de la infraestructura, incrementa la incertidumbre respecto de su condición estructural actual.

Las características físicas de la red, como su ubicación, longitud, diámetro, materialidad y antigüedad son obtenidos desde Gisweb, tal como se muestra en la Figura 6-3. Finalmente, todos los atributos de cada elemento de colector que pertenece al ramal, es presentado en la Tabla 6-3, donde se aprecia además el indicador obtenido por cada tramo de colector.

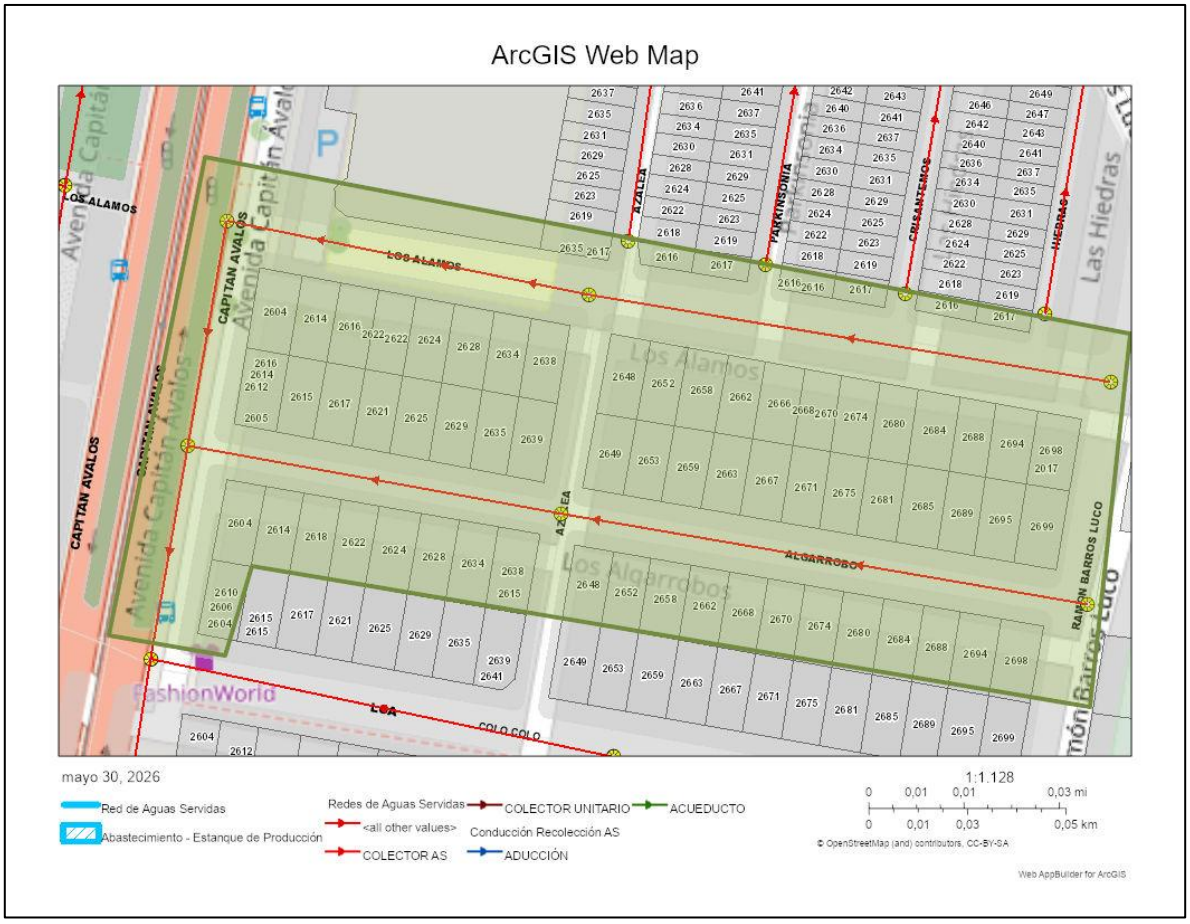


Figura 6-3: Georreferenciación del Ramal DP-109.

Fuente: Elaborado con Arcgis Web

Tabla 6-3: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal DP-109.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Antigüedad	Indicador del tramo
COL-043902	Algarrobo	Av. Ramón Barros Luco	Azalea	175	CC	117,65776	más de 60 años	6,52
COL-043897	Los Alamos	Av. Ramón Barros Luco	Azalea	200	CC	133,89087	más de 60 años	6,08
COL-043902	Algarrobo	Av. Ramón Barros Luco	Azalea	200	PVC	17,820079	más de 60 años	5,72
COL-043898	Los Alamos	Azalea	Av. Capitán Ávalos	200	CC	48,101855	más de 60 años	2,92
COL-043900	Av. Capitán Ávalos	Los Alamos	Av. Capitán Ávalos	250	PVC	57,542145	entre 30 y 59 años	1,97
COL-057371	Los Alamos	Azalea	Capitán Ávalos	200	PVC	29,99996	más de 60 años	1,95
COL-057372	Los Alamos	Azalea	Capitán Ávalos	200	PVC	15,646894	más de 60 años	1,95
COL-043903	Algarrobo	Azalea	Capitán Ávalos	180	PVC	96,009158	Entre 10 y 29 años	1,45
COL-043901	Av. Capitán Ávalos	Algarrobo	Av. Loa	250	PVC	54,499739	Entre 10 y 29 años	1,25

Fuente: Base de datos de Gisweb.

6.3.3. Ramal RR-047 (Indicador de Criticidad: 3,69)

Este sector representa una problemática frecuente en redes de alcantarillado antiguas, donde convergen fallas asociadas tanto a la infraestructura pública como a las conexiones domiciliarias, generando una mayor complejidad en la gestión operacional.

Características físicas y geometría: Corresponde a un sector de carácter predominantemente residencial, compuesto por tramos continuos de colectores destinados a la recolección de aguas servidas de una cuenca urbana consolidada.

Materialidad y antigüedad: El ramal presenta una alta proporción de tuberías con más de 60 años de servicio, construidas bajo criterios de diseño y normativas anteriores a los estándares actualmente vigentes. Esta condición incrementa la susceptibilidad al deterioro estructural y a la ocurrencia de fallas asociadas al envejecimiento de los materiales.

Comportamiento operacional e impacto: El análisis de los registros históricos muestra que la criticidad del sector no se explica únicamente por eventos de obstrucción en los colectores principales, sino también por una elevada recurrencia de fallas asociadas a uniones domiciliarias (UD). Esta combinación de eventos genera una mayor demanda de atención operativa y aumenta el riesgo de discontinuidades del servicio. Adicionalmente, la antigüedad de la infraestructura y las condiciones ambientales propias de la ciudad de Arica constituyen factores que pueden contribuir al deterioro progresivo de la red, reforzando la necesidad de inspecciones detalladas y de una evaluación estructural prioritaria dentro de los programas de renovación.

Las características físicas de la red, como su ubicación, longitud, diámetro, materialidad y antigüedad son obtenidos desde Gisweb, tal como se muestra en la Figura 6-4. Finalmente, todos los atributos de cada elemento de colector que pertenece al ramal, es presentado en la

Tabla 6-4, donde se aprecia además el indicador obtenido por cada tramo de colector.

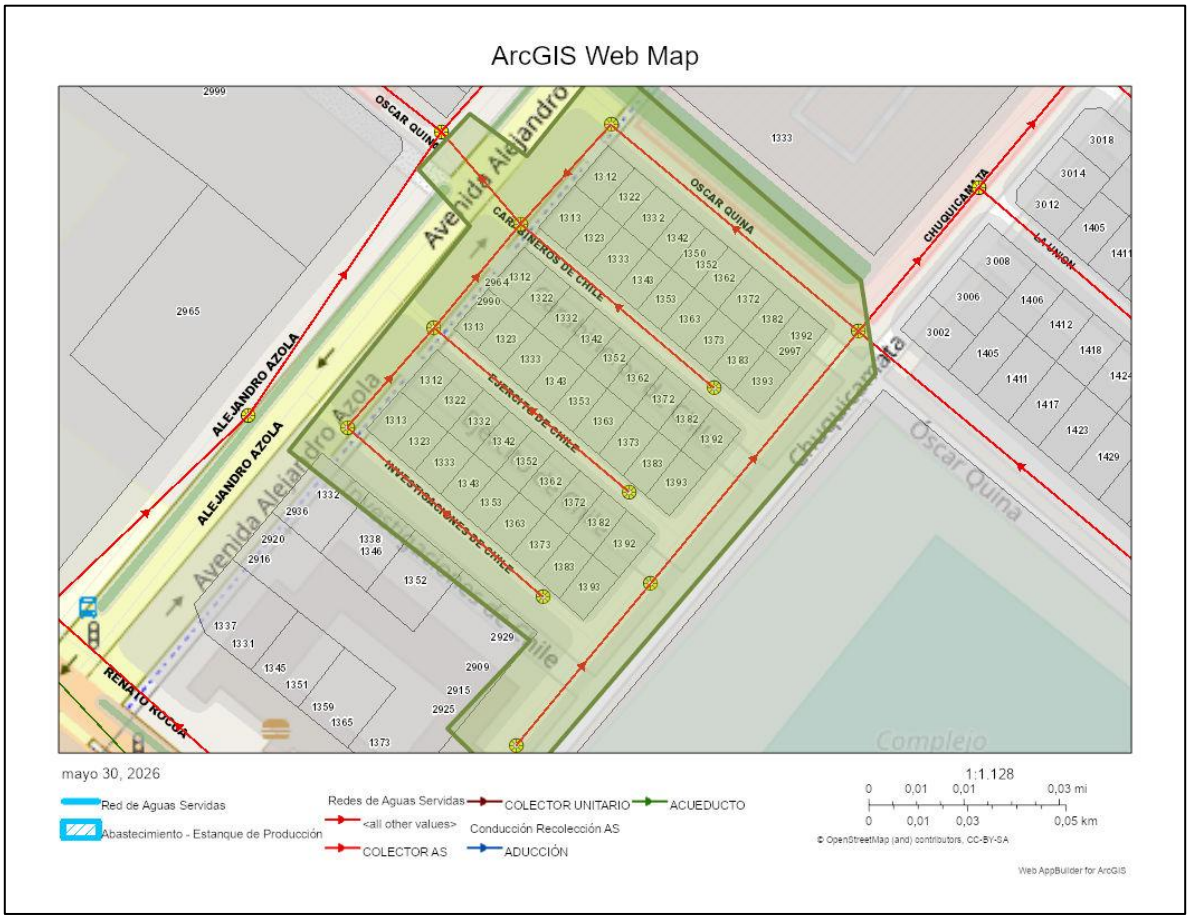


Figura 6-4: Georreferenciación del Ramal RR-047.

Fuente: Elaborado con Arcgis Web

Tabla 6-4: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal RR-047.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Antigüedad	Indicador del tramo
COL-043940	Oscar Quina	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	CC	81,8	más de 60 años	4,92
COL-043941	Carabineros De Chile	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	CC	64,3	más de 60 años	4,75
COL-041385	Avenida Alejandro Azola	Carabineros De Chile	Oscar Quina	175	CC	30,8	más de 60 años	4,25
COL-041384	Avenida Alejandro Azola	Oscar Quina	Carabineros De Chile	175	CC	34,0	más de 60 años	3,82
COL-043942	Ejército De Chile	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	CC	64,5	más de 60 años	3,55
COL-043938	Chuquicamata	Investigaciones De Chile	Ejército De Chile	175	CC	53,5	más de 60 años	3,35
COL-043167	Investigaciones De Chile	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	CC	65,8	más de 60 años	2,98
COL-041383	Avenida Alejandro Azola	Ejército De Chile	Carabineros De Chile	175	CC	34,3	más de 60 años	2,95
COL-043939	Chuquicamata	Ejército De Chile	Oscar Quina	200	CC	82,8	más de 60 años	2,95
COL-041382	Avenida Alejandro Azola	Investigaciones De Chile	Ejército De Chile	175	CC	33,5	más de 60 años	2,75

Fuente: Base de datos de Gisweb.

6.3.4. Ramal DP-118 (Indicador de Criticidad: 3,57)

El ramal DP-118 corresponde al cuarto sector con mayor nivel de criticidad dentro de la muestra analizada. Su posición en el ranking se explica por la combinación de antecedentes operacionales recurrentes y características físicas que evidencian un deterioro progresivo de su desempeño.

Características físicas y geometría: Corresponde a un colector secundario destinado a la conducción gravitacional de aguas servidas provenientes de sectores residenciales consolidados.

Materialidad y antigüedad: El ramal está conformado principalmente por tuberías de antigua data, las cuales han estado expuestas durante décadas a las condiciones operacionales propias del sistema y a las solicitaciones mecánicas del entorno urbano. Esta condición incrementa su vulnerabilidad frente a procesos de deterioro estructural.

Comportamiento operacional e impacto: El análisis de los registros históricos muestra una recurrencia significativa de actividades de mantenimiento correctivo y

eventos asociados a discontinuidades del servicio. Si bien no presenta la mayor frecuencia de fallas estructurales dentro de los sectores evaluados, registra antecedentes de afloramientos y requerimientos operacionales reiterados, situación que evidencia una dependencia creciente de intervenciones de mantenimiento para mantener condiciones adecuadas de funcionamiento.

En consecuencia, la criticidad observada en este ramal no se explica por un único evento de alta severidad, sino por la acumulación de incidentes operacionales y la persistencia de intervenciones correctivas a lo largo del tiempo. Estos antecedentes justifican su incorporación dentro de los sectores prioritarios para futuras evaluaciones de condición e iniciativas de rehabilitación o renovación de infraestructura.

Las características físicas de la red, como su ubicación, longitud, diámetro, materialidad y antigüedad son obtenidos desde Gisweb, tal como se muestra en la Figura 6-2. Finalmente, todos los atributos de cada elemento de colector que pertenece al ramal, es presentado en la Tabla 6-5, donde se aprecia además el indicador obtenido por cada tramo de colector.

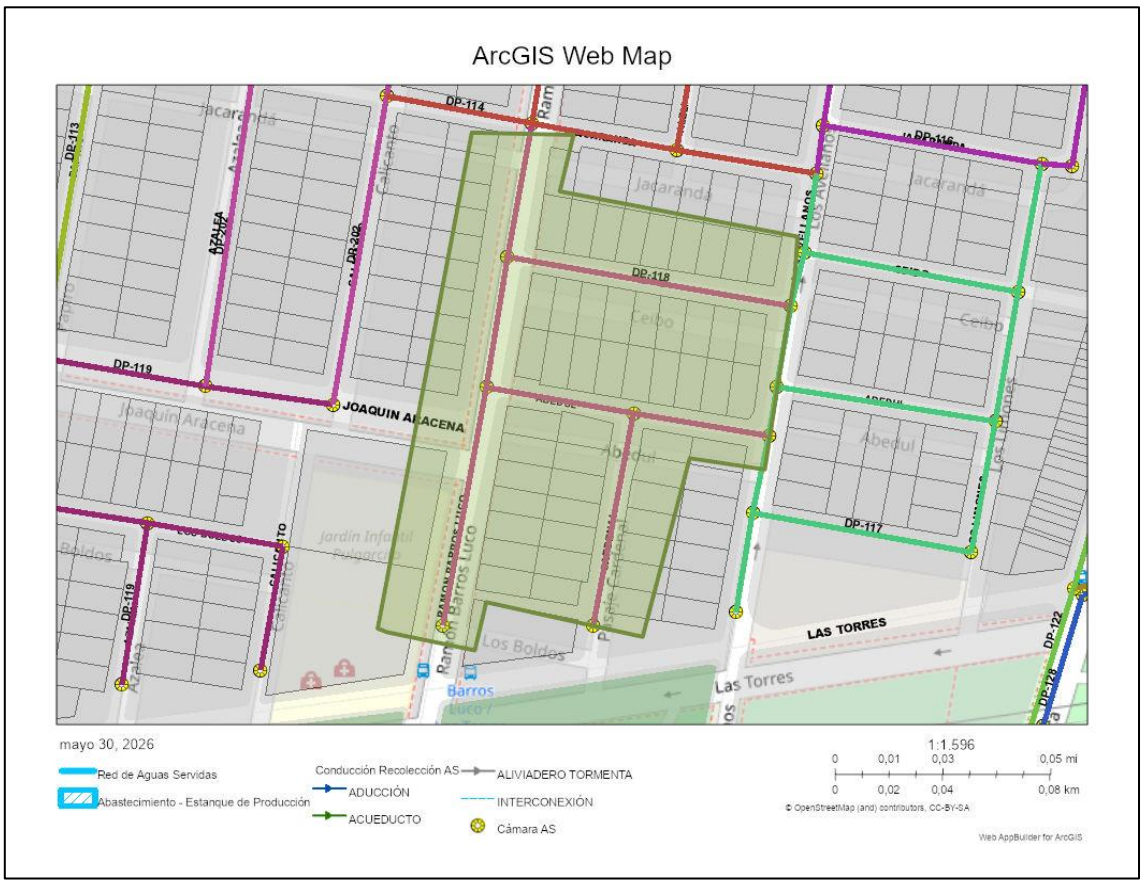


Figura 6-5: Georreferenciación del Ramal DP-118.

Fuente: Elaborado con Arcgis Web

Tabla 6-5: Principales características de los colectores pertenecientes al ramal DP-118.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Antigüedad	Indicador del tramo
COL-037095	Avenida Ramón Barros Luco	Pasaje Abedul	Avenida Las Torres	175	CC	76,5	más de 60 años	5,88
COL-043896	Cardenal	Avenida Las Torres	Pasaje Abedul	175	CC	73,8	más de 60 años	5,32
COL-043546	Ceibo	Los Avellanos	Avenida Ramón Barros Luco	175	CC	77,3	más de 60 años	2,75
COL-043026	Avenida Ramón Barros Luco	Avenida Ramón Barros Luco	Jacarandá	200	CC	50,8	más de 60 años	2,75
COL-043027	Avenida Ramón Barros Luco	Pasaje Abedul	Ceibo	175	CC	49,3	más de 60 años	2,75
COL-043759	Pasaje Abedul	Los Avellanos	Pasaje Abedul	175	CC	51,3	más de 60 años	2,75
COL-043760	Pasaje Abedul	Cardenal	Avenida Ramón Barros Luco	180	CC	55,7	más de 60 años	2,75
COL-053487	Ceibo	Los Avellanos	Avenida Ramón Barros Luco	200	PVC	30,0	más de 60 años	2,18
COL-053492	Avenida Ramón Barros Luco	Pasaje Abedul	Avenida Las Torres	200	PVC	14,0	más de 60 años	2,15
N/A	Cardenal	Avenida Las Torres	Pasaje Abedul	200	PVC	7,1	más de 60 años	1,95

Fuente: Base de datos de Gisweb.

6.4. Diagnóstico de los ramales críticos

El presente apartado desarrolla el análisis detallado de los cuatro ramales que obtuvieron los mayores niveles de criticidad dentro de la red de alcantarillado de la ciudad de Arica, de acuerdo con los resultados del modelo multicriterio propuesto. Para ello, se utilizan los antecedentes contenidos en las bases de datos asociadas a los ramales RR-051, DP-109, RR-047 y DP-118, integrando información física, operacional e histórica proveniente del sistema GIS, los registros de discontinuidades y las actividades de mantenimiento ejecutadas en terreno.

El análisis considera variables relacionadas con la materialidad, antigüedad, diámetro, longitud, historial de obstrucciones, fallas estructurales, afloramientos y requerimientos de mantenimiento, permitiendo caracterizar de manera integral el comportamiento de cada sector. El objetivo es identificar los factores que explican la criticidad observada en estos ramales, diferenciando aquellos casos donde predominan problemas operacionales asociados a obstrucciones recurrentes de

aquellos donde existen antecedentes que evidencian un deterioro estructural más avanzado de la infraestructura. Esta caracterización constituye la base técnica para la priorización de futuras intervenciones de inspección, rehabilitación o renovación dentro de la red de alcantarillado de Arica.

Tabla 6-6: Matriz comparativa de los ramales críticos.

Criterio Técnico / Atributo	Ramal RR-051	Ramal DP-109	Ramal RR-047	Ramal DP-118
Indicador de Criticidad Final	4,1	3,91	3,69	3,57
Materialidad Predominante	Cemento Comprimido	Cemento Comprimido	Cemento Comprimido	Cemento / PVC
Rango de Antigüedad	> 60 años	> 60 años	> 60 años	Mixta (30 a 59 años)
Diámetro Nominal	180 - 250 mm	180 - 250 mm	180 - 250 mm	180 - 250 mm
Frecuencia de Obstrucciones	Muy Alta	Alta	Media-Alta	Alta
Demandas de Limpieza	Recurrente (Hidrojet)	Crítica (Succión)	Moderada-Alta	Recurrente
Entorno y Vulnerabilidad de Suelo	Sector industrial	Eje Vial Principal	Cercano a colegios	Densidad Urbana

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1. Complemento del Diagnóstico mediante Inspección Televisiva (CCTV)

Si bien la matriz de criticidad multicriterio permite identificar y priorizar los ramales con mayor nivel de riesgo relativo, la toma de decisiones sobre renovación o rehabilitación requiere incorporar antecedentes adicionales que permitan reducir la incertidumbre asociada al estado real de la infraestructura. En este contexto, la inspección televisiva mediante circuito cerrado de televisión (CCTV), desarrollada bajo los lineamientos del estándar PACP de NASSCO, constituye una herramienta fundamental para evaluar la condición interna de los colectores y complementar la información obtenida a partir de los registros históricos y operacionales.

La incorporación del CCTV dentro de la metodología propuesta no tiene por objetivo reemplazar el indicador de criticidad, sino aportar evidencia directa sobre el estado físico de los activos previamente identificados como prioritarios. Mientras la matriz de criticidad permite determinar qué sectores presentan una mayor probabilidad de

falla o un desempeño operacional deficiente, la inspección televisiva permite identificar la naturaleza y severidad de los defectos presentes, tales como fisuras, fracturas, deformaciones, infiltraciones, raíces, juntas desplazadas o colapsos parciales.

De esta forma, el diagnóstico final combina información predictiva y evidencia observacional. La criticidad obtenida a partir del modelo orienta la selección de los sectores a inspeccionar, mientras que los resultados del CCTV permiten confirmar la condición estructural del activo y definir la alternativa de intervención más adecuada. Sobre esta base se construye el árbol de toma de decisiones propuesto, el cual vincula el nivel de criticidad, la condición observada en la inspección y la estrategia de gestión recomendada ya sea mantenimiento, rehabilitación mediante tecnologías sin zanja o renovación completa del colector.

6.4.2. Diagnóstico Ramal RR-051 (Indicador de Criticidad: 4,10)

El ramal RR-051 fue sometido a una campaña de inspección televisiva mediante circuito cerrado de televisión (CCTV) con el objetivo de complementar el diagnóstico obtenido a partir del modelo de criticidad y verificar la condición física de los colectores que componen el sector. La inspección permitió contrastar la información registrada en el Sistema de Información Geográfica (GIS) con las condiciones observadas directamente en terreno, identificando diferencias relevantes en la caracterización de algunos activos.

Tal como se presenta en la

Tabla 6-7, se verificó que la infraestructura del sector está compuesta mayoritariamente por tuberías de cemento comprimido (CC), de las imágenes obtenidas durante la inspección, ejemplificadas en la Figura 6-6 para el tramo ubicado en calle Pucarani entre Barros Arana y Avenida Argentina, muestran evidencias de desgaste superficial y deterioro del material asociado a la antigüedad de la infraestructura. No obstante, no se observaron deformaciones significativas, colapsos estructurales, fracturas severas ni pérdidas importantes de la geometría original del conducto. En términos generales, los colectores inspeccionados conservan condiciones estructurales que permiten considerar alternativas de rehabilitación antes de que el deterioro evolucione hacia estados de mayor severidad.

A partir de la evaluación conjunta de los antecedentes operacionales, la condición observada mediante CCTV y los resultados del modelo de criticidad, se establecen dos líneas principales de intervención para este ramal:

Tabla 6-7: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel RR-051.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Acción a realizar	Antecedentes redes
COL-033656	Barros Arana	Av. Alejandro Azola	Pucarani	250	CC	60	Rehabilitar	
COL-033638	Pucarani	Barros Arana	Avenida Argentina	350	CC	98	Rehabilitar	
COL-033656	Barros Arana	Av. Alejandro Azola	Pucarani	200	PVC	40	Rehabilitar	
COL-033655	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	CC	91	Renovar	
COL-033637	Av.Argentina	Pucarani	Pucarani	350	CC	107	Rehabilitar	
COL-033657	Av. Alejandro Azola	Barros Arana	Barros Arana	250	CC	87	Rehabilitar	
COL-033654	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	CC	72	Renovar	Reparación puntual de 40 m. oct 2025
COL-033658	Barros Arana	Oscar Quina	Av. Alejandro Azola	250	PVC	105	Rehabilitar	
N/A	Pucarani	Barros Arana	Av. Argentina	350	PVC	10	Rehabilitar	
COL-057364	Av. Alejandro Azola	Barros Arana	Barros Arana	200	PVC	6	Rehabilitar	
COL-033643	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	PVC	32	Sin Acción	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-6: Inspección televisiva del colector ID COL-033655, el cual se detecta con un importante desgaste.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas



Figura 6-7: Inspección televisiva del colector ID COL-033655, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas



Figura 6-8: Inspección televisiva del colector ID COL-033656, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas



Figura 6-9: Inspección televisiva del colector ID COL-033655, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas

6.4.3. Diagnóstico Ramal DP-109 (Indicador de Criticidad: 3,91)

El ramal DP-109 fue sometido a una campaña de inspección televisiva mediante circuito cerrado de televisión (CCTV), de la cual, uno de los principales hallazgos de la inspección fue la detección de inconsistencias entre la información registrada en el Sistema de Información Geográfica (GIS) y la materialidad observada en terreno. De acuerdo con el catastro digital, algunos tramos figuraban como tuberías de PVC; sin embargo, la inspección permitió verificar la existencia de segmentos construidos en cemento comprimido que no se encontraban correctamente identificados en la base de datos. Este resultado evidencia la importancia de complementar la información catastral con inspecciones de campo que permitan validar y actualizar los registros históricos de la infraestructura.

Desde el punto de vista estructural, las imágenes obtenidas mostraron signos de desgaste superficial y erosión interna compatibles con la antigüedad del activo y las condiciones de operación propias de este tipo de material. No obstante, durante la inspección no se identificaron colapsos, deformaciones significativas, pérdidas de sección ni defectos estructurales severos que comprometieran de manera inmediata la estabilidad del conducto. En términos generales, el colector mantiene condiciones geométricas compatibles con la continuidad de servicio y presenta una condición estructural susceptible de ser intervenida mediante técnicas de rehabilitación.

Los antecedentes obtenidos permiten concluir que la criticidad observada en el modelo se encuentra asociada principalmente al envejecimiento de la infraestructura y a la presencia de materiales que han superado gran parte de su vida útil de diseño, más que a una condición de colapso estructural inminente. En consecuencia, el ramal constituye un candidato adecuado para la evaluación de alternativas de rehabilitación que permitan extender la vida útil del activo y reducir el riesgo de futuras discontinuidades operacionales.

Como resultado del proceso de diagnóstico, se propone la rehabilitación mediante tecnologías sin zanja para aquellos tramos que conservan condiciones geométricas adecuadas y no presentan defectos estructurales críticos. De forma complementaria, se identifica un tramo de colector ID COL-043902, el cual registra antecedentes de reparaciones o intervenciones parciales de emergencia, el cual se sugiere realizar su renovación completa, buscando eliminar puntos de debilidad que puedan comprometer el desempeño futuro del ramal. De la inspección también se detecta el colector ID COL-043902 con evidente daño estructural.

Tabla 6-8: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel DP-109.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Acción a realizar	Antecedentes redes
COL-043902	Algarrobo	Avenida Ramón Barros Luco	Azalea	175	CC	118	Renovar	reparación puntual 20 m. nov 2025
COL-043897	Los Alamos	Avenida Ramón Barros Luco	Azalea	200	CC	134	Rehabilitar	
COL-043902	Algarrobo	Avenida Ramón Barros Luco	Azalea	200	PVC	18	Renovar	
COL-043898	Los Alamos	Azalea	Capitan Ávalos	200	CC	48	Rehabilitar	
COL-043900	Avenida Capitán Ávalos	Los Alamos	Avenida Capitán Ávalos	250	PVC	58	Rehabilitar	
COL-057371	Los Alamos	Azalea	Capitán Ávalos	200	PVC	30	Rehabilitar	
COL-057372	Los Alamos	Azalea	Capitán Ávalos	200	PVC	16	Rehabilitar	
COL-043903	Algarrobo	Azalea	Capitán Ávalos	180	PVC	96	Sin Acción	
COL-043901	Avenida Capitán Ávalos	Algarrobo	Avenida Loa	250	PVC	54	Sin Acción	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-10: Inspección televisiva del colector ID COL-043903, el cual se detecta con un importante desgaste.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas



Figura 6-11: Inspección televisiva del colector ID COL-043902, el cual se detecta con un importante daño y pérdida en su geometría estructural.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas

6.4.4. Diagnóstico RR-047 (Indicador de Criticidad: 3,69)

El ramal RR-047 está conformado principalmente por colectores de cemento comprimido (CC) de 175 mm de diámetro, material predominante en este sector de la red y que presenta un avanzado grado de envejecimiento asociado a su antigüedad de servicio. A partir del análisis integrado del catastro GIS, los antecedentes operacionales y la inspección televisiva, se definieron las siguientes condiciones de intervención para los tramos evaluados.

De la inspección se detecta el colector ID COL-043942 con una importante pérdida de sección útil y deterioro de las paredes internas producto de procesos de corrosión y desgaste acumulado. La deformación observada compromete la capacidad estructural del conducto, por lo que se recomienda su renovación con zanja abierta.

Del colector ID COL-043939 se identifica un daño estructural severo, condiciones que incrementan significativamente el riesgo de colapso. Considerando el nivel de daño observado, se recomienda su renovación.

Del colector ID COL-041385, este tramo fue renovado durante febrero de 2026 como consecuencia de una falla estructural previa. Dado su estado actual, no se identifican requerimientos de intervención adicionales en el corto plazo, por lo que se clasifica como sin acción inmediata.

Tabla 6-9: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel RR-047.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Acción a realizar	Antecedentes redes
COL-043940	Oscar Quina	Chuquicamata	Av. Alejandro Azola	175	CC	82	Rehabilitar	
COL-043941	Carabineros De Chile	Chuquicamata	Av. Alejandro Azola	175	CC	64	Rehabilitar	
COL-041385	Av. Alejandro Azola	Carabineros De Chile	Oscar Quina	175	CC	31	Sin acción	Renovado en febrero 2026
COL-041384	Avenida Alejandro Azola	Oscar Quina	Carabineros De Chile	175	CC	34	Rehabilitar	
COL-043942	Ejército De Chile	Chuquicamata	Av. Alejandro Azola	175	CC	65	Renovar	
COL-043938	Chuquicamata	Investigaciones De Chile	Ejército De Chile	175	CC	53	Rehabilitar	
COL-043167	Investigaciones De Chile	Chuquicamata	Av. Alejandro Azola	175	CC	66	Rehabilitar	
COL-041383	Av. Alejandro Azola	Ejército De Chile	Carabineros De Chile	175	CC	34	Rehabilitar	
COL-043939	Chuquicamata	Ejército De Chile	Oscar Quina	200	CC	83	Renovar	
COL-041382	Av. Alejandro Azola	Investigaciones De Chile	Ejército De Chile	175	CC	33	Rehabilitar	

Fuente: Elaboración propia.



Figura 6-12: Inspección televisiva del colector ID COL-043942, el cual se detecta con un importante desgaste y pérdida en su geometría estructural.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas



Figura 6-13: Inspección televisiva del colector ID COL-043939, el cual se detecta con un importante daño estructural.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas



Figura 6-14: Inspección televisiva del colector ID COL-041385, imagen obtenida previo a su renovación en febrero 2026.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas

6.4.5. Diagnóstico Ramal DP-118 (Indicador de Criticidad: 3,57)

El cuartel DP-118 presenta una configuración mixta, compuesta por colectores de cemento comprimido (CC) y tramos renovados en PVC, con diámetros predominantes de 175 mm y 200 mm. A partir del análisis integrado de los antecedentes operacionales y de la inspección televisiva, se definieron las siguientes acciones de intervención para los distintos componentes del sector. A continuación, se indica la descripción para los colectores analizados:

Colector ID COL-043760: de la inspección evidenció una importante acumulación de arena y material pétreo al interior de la tubería. La presencia de estos elementos constituye un indicio de pérdida de estanqueidad y deterioro estructural, permitiendo el ingreso de material proveniente del terreno circundante. Considerando la condición observada, se recomienda su renovación.

Colector ID COL-043546:

Se observaron daños estructurales severos, caracterizados por pérdida de sección útil, desprendimiento de material constitutivo e ingreso de elementos del subsuelo. El nivel de deterioro compromete la estabilidad del conducto y descarta alternativas

de rehabilitación, por lo que se recomienda su renovación mediante método tradicional de zanja abierta.

Del colector ID COL-043896, de los antecedentes operacionales indican la ejecución de una reparación parcial de aproximadamente 20 metros durante abril de 2025. Dado que el resto del tramo conserva la materialidad original de cemento comprimido y presenta condiciones de envejecimiento similares, se recomienda la renovación completa entre cámaras, con el objetivo de eliminar discontinuidades estructurales y mejorar la confiabilidad del sistema.

Del colector ID COL-037095, fue renovado durante febrero de 2025 y actualmente presenta condiciones operativas satisfactorias. En consecuencia, se clasifica como sin requerimientos de inversión o intervención adicional en el corto plazo.

Tabla 6-10: Resumen de actividades a desarrollar para el cuartel DP-118.

Código	Calle	Desde	Hasta	Diámetro	Material	Largo	Acción a realizar	Antecedentes redes
COL-037095	Avenida Ramón Barros Luco	Pasaje Abedul	Avenida Las Torres	175	CC	76	Sin Acción	Renovado febrero 2025
COL-043896	Cardenal	Avenida Las Torres	Pasaje Abedul	175	CC	74	Renovar	Reparado parcial de 20 m. en abril 2025
COL-043546	Ceibo	Los Avellanos	Avenida Ramon Barros Luco	175	CC	77	Renovar	
COL-043026	Avenida Ramón Barros Luco	Avenida Ramón Barros Luco	Jacarandá	200	CC	51	Rehabilitar	
COL-043027	Avenida Ramón Barros Luco	Pasaje Abedul	Ceibo	175	CC	49	Rehabilitar	
COL-043759	Pasaje Abedul	Los Avellanos	Pasaje Abedul	175	CC	51	Rehabilitar	
COL-043760	Pasaje Abedul	Cardenal	Avenida Ramón Barros Luco	180	CC	56	Renovar	
COL-053487	Ceibo	Los Avellanos	Avenida Ramón Barros Luco	200	PVC	30	Rehabilitar	
COL-053492	Avenida Ramón Barros Luco	Pasaje Abedul	Avenida Las Torres	200	PVC	14	Rehabilitar	Reparado puntual 6 m. en julio 2025
N/A	Cardenal	Avenida Las Torres	Pasaje Abedul	200	PVC	7	Rehabilitar	

Fuente: Elaboración propia.

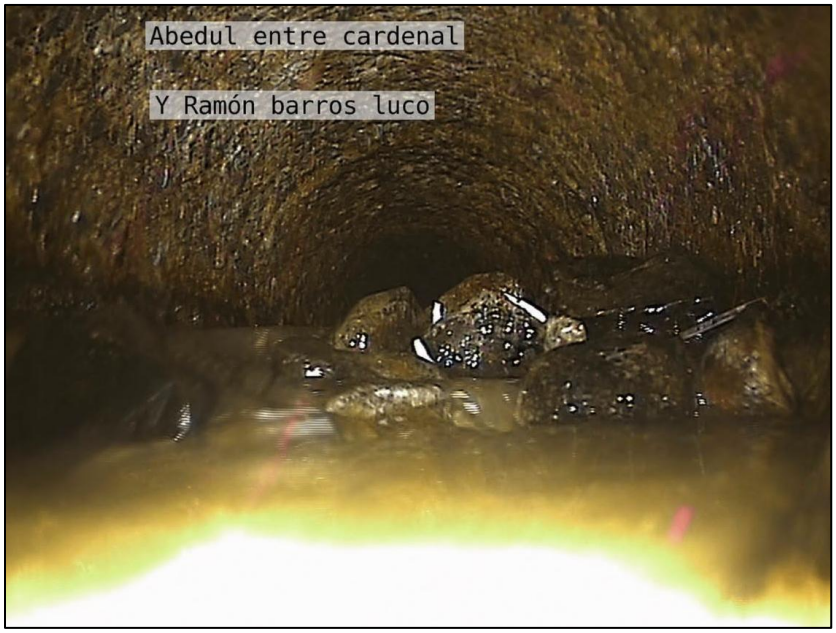


Figura 6-15: Inspección televisiva del colector ID COL-043760, el cual se detecta arena y piedras en su interior, indicio de colector con daño estructural en su base.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas

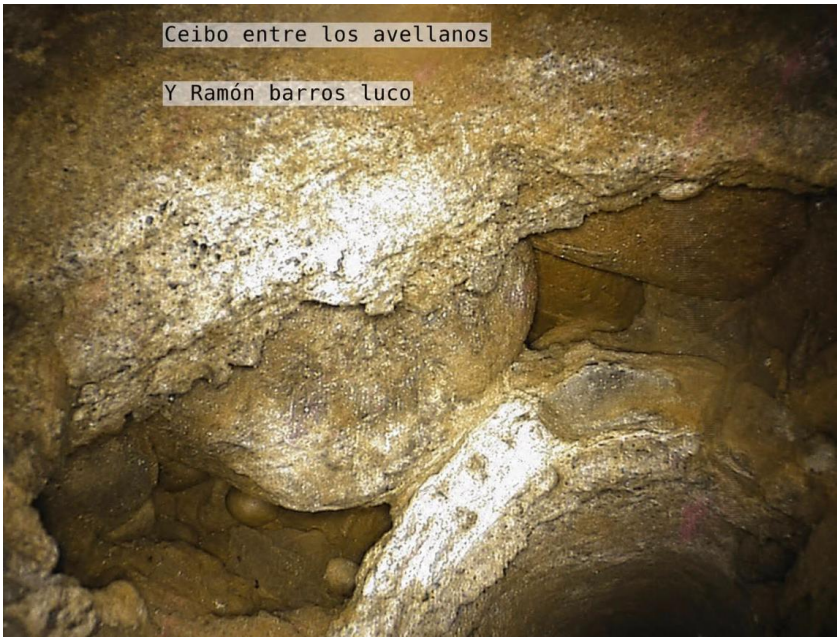


Figura 6-16: Inspección televisiva del colector ID COL-043546, el cual se detecta con importante daño estructural.

Fuente: Registro fotográfico Aguas Nuevas

7. Importancia Estratégica del CAPEX en la Gestión de Activos

Dentro del marco de la gestión de activos sanitarios, la planificación y asignación del Gasto de Capital (CAPEX) constituye uno de los pilares fundamentales para garantizar la sostenibilidad técnico-financiera y la continuidad operacional de las redes de recolección de aguas servidas. En sistemas afectados por un avanzado proceso de envejecimiento de la infraestructura, como ocurre en la ciudad de Arica, las decisiones de inversión no pueden continuar sustentándose únicamente en enfoques reactivos orientados a la atención de emergencias y reparaciones puntuales (OPEX), ya que esta estrategia incrementa progresivamente los costos operacionales, las indemnizaciones por daños a terceros y los riesgos asociados a eventos de rebalse y discontinuidad del servicio.

En este contexto, la asignación de recursos de capital debe orientarse hacia una gestión preventiva y predictiva, apoyada en herramientas objetivas de análisis que permitan identificar los sectores con mayor nivel de vulnerabilidad. La matriz de criticidad desarrollada en esta investigación y el diagnóstico de precisión obtenido mediante inspección televisiva (CCTV) constituyen los principales mecanismos de soporte para la toma de decisiones, permitiendo maximizar el retorno de la inversión y priorizar aquellas intervenciones que generan el mayor beneficio operacional para la compañía.

Con el propósito de evaluar la viabilidad económica del modelo propuesto y establecer una base financiera realista para la planificación de inversiones, se recopilaron y analizaron antecedentes provenientes de licitaciones y contratos vigentes ejecutados por Aguas del Altiplano. A partir de esta información se determinaron los costos unitarios de referencia para las principales alternativas de intervención aplicables a la red de alcantarillado de la ciudad:

- Renovación convencional mediante licitación pública (zanja abierta): costo promedio de 22 UF/m. este costo considera la reposición del pavimento.
- Renovación convencional mediante contrato de emergencia local (zanja abierta): costo promedio de 15 UF/m. este costo considera la reposición del pavimento.
- Rehabilitación mediante tecnologías sin zanja (CIPP): costo promedio de 5 UF/m, incluyendo limpieza técnica con camión combinado (Vactor), inspección CCTV de respaldo e instalación de la manga estructural.

7.1. Análisis Comparativo de las Modalidades de Contratación de Obras Civiles en Zonas Extremas

Para justificar técnicamente la estrategia de optimización propuesta en esta investigación, resulta necesario analizar los factores logísticos, territoriales y contractuales que explican las diferencias de costo existentes entre las modalidades

tradicionales de renovación mediante zanja abierta y las alternativas de rehabilitación sin zanja. Las particularidades geográficas y operacionales de la ciudad de Arica generan condiciones que influyen directamente en la estructura de costos de cada solución constructiva.

7.1.1. Limitaciones y Estructura de Costos de la Licitación Pública Tradicional

El costo promedio de 22 UF/m asociado a la renovación mediante licitación pública tradicional responde principalmente a dos factores que incrementan significativamente el valor final de las obras, la dispersión geográfica y ciudad extrema. A continuación, la descripción de cada uno de ellos.

- **Dispersión geográfica de las intervenciones**. Históricamente, los proyectos de renovación han sido formulados para abordar tramos aislados distribuidos en distintos sectores de la ciudad. Esta fragmentación obliga a los contratistas a implementar múltiples instalaciones de faena, señalizaciones temporales, medidas de seguridad vial y procesos de movilización de equipos, incrementando considerablemente los costos indirectos por cada metro lineal intervenido.

- **Condición de ciudad extrema.** La ubicación geográfica de Arica, en el extremo norte del país, implica que gran parte de las empresas especializadas deban trasladar maquinaria, equipamiento y personal desde otras regiones. Los costos asociados a transporte, alojamiento, viáticos y logística son incorporados en las ofertas económicas, impactando directamente el valor unitario de las obras ejecutadas mediante este mecanismo contractual.

7.1.2. Ventajas y Restricciones del Contrato de Emergencia Local

La modalidad de Contrato de Emergencia Local permite reducir el costo unitario de renovación a aproximadamente 15 UF/m, gracias a una estructura operacional distinta a la de una licitación convencional. Sin embargo, esta alternativa incorpora limitaciones que deben ser consideradas desde la perspectiva de la gestión de activos.

Economías de escala e infraestructura absorbida. Al tratarse de un contrato permanente destinado a atender contingencias y requerimientos operacionales de la ciudad, el proveedor ya dispone de infraestructura instalada, personal operativo, equipos de apoyo, instalaciones de faena y sistemas de gestión previamente financiados dentro del contrato global. Esta condición elimina gran parte de los costos indirectos asociados a la movilización y puesta en marcha de nuevas obras, permitiendo una reducción significativa del costo unitario.

Restricción por capacidad operativa. A pesar de sus ventajas económicas, este tipo de contrato opera bajo un esquema de capacidad limitada. El convenio establece

una cantidad definida de cuadrillas, maquinaria y recursos disponibles para responder a las necesidades operacionales de la sanitaria. En consecuencia, dichos recursos deben distribuirse simultáneamente para atender roturas, emergencias y contingencias que ocurren diariamente en la ciudad. Destinar una proporción significativa de esta capacidad a programas masivos de renovación programada puede afectar negativamente la capacidad de respuesta frente a eventos críticos, comprometiendo el desempeño operacional global de la organización.

7.1.3. Ventajas de la Rehabilitación Sin Zanja (CIPP)

Frente a las limitaciones propias de las intervenciones mediante zanja abierta, la rehabilitación mediante tecnologías sin zanja representa una alternativa altamente competitiva, con un costo promedio de 5 UF/m, capaz de optimizar simultáneamente los recursos financieros, los tiempos de ejecución y la certidumbre presupuestaria del programa de inversiones.

Alto rendimiento operativo. La rehabilitación mediante manga curada in situ (CIPP) elimina gran parte de las actividades tradicionalmente asociadas a la renovación convencional, tales como excavaciones extensivas, transporte de material excavado, reposición de pavimentos y restitución de áreas intervenidas. Como resultado, se reduce significativamente el costo directo de ejecución y se minimizan los impactos asociados a la dispersión geográfica de las obras.

Mitigación del riesgo de inversión. Un aspecto particularmente relevante de la oferta comercial asociada a esta tecnología corresponde a la flexibilidad en la asignación de metros lineales rehabilitados. Durante el proceso de ejecución, y una vez realizadas las etapas de limpieza e inspección CCTV, puede determinarse que ciertos colectores presentan fallas estructurales terminales —como colapsos totales, pérdida de sección o deformaciones geométricas superiores al 15 %— que impiden técnicamente la instalación de una manga estructural. El proveedor permite reasignar los metros lineales originalmente considerados para dicho tramo hacia otros colectores de criticidad equivalente dentro de la ciudad. Esta cláusula contractual reduce significativamente el riesgo financiero asociado a la ejecución del programa de rehabilitación, evitando pérdidas de inversión derivadas de ductos descartados en terreno y contribuyendo al cumplimiento efectivo del plan de inversiones (CAPEX) definido por la empresa sanitaria.

7.1.4. Eficiencia Económica de la Rehabilitación Frente a la Renovación a Zanja Abierta

La diferencia económica entre una renovación convencional y una rehabilitación mediante tecnologías sin zanja no se explica únicamente por el método constructivo utilizado, sino principalmente por las actividades asociadas a la excavación y reposición de la infraestructura urbana.

En las obras ejecutadas mediante zanja abierta, una parte importante del presupuesto corresponde a la reposición de pavimentos y aceras intervenidas,

actividad que puede representar cerca del 60% del costo total del proyecto. El porcentaje restante se concentra en las excavaciones, movimientos de tierra, sistemas de entibación, transporte de material y demás actividades necesarias para acceder a colectores que, en promedio, se encuentran instalados entre 2 y 3 metros de profundidad.

Por el contrario, la rehabilitación mediante manga curada in situ (CIPP) aprovecha la infraestructura existente y se ejecuta a través de las cámaras de inspección, reduciendo significativamente la necesidad de excavaciones y reposiciones superficiales. Esta diferencia permite disminuir los costos de ejecución y minimizar las interferencias sobre el entorno urbano.

Como resultado, el costo promedio de una rehabilitación mediante CIPP alcanza aproximadamente 5 UF/m, frente a las 15 UF/m y 22 UF/m requeridas por las alternativas convencionales de zanja abierta. Desde la perspectiva de la gestión de activos, esta brecha económica permite maximizar el rendimiento del presupuesto de inversión (CAPEX), ampliando la cobertura de intervención y acelerando la recuperación de infraestructura crítica dentro de la red de alcantarillado de Arica.

7.2. Análisis Económico Consolidado de los Ramales Prioritarios

Una vez definidas las alternativas de intervención y establecidos los costos unitarios de referencia para cada tecnología, se procedió a valorizar económicamente los cuatro ramales priorizados por el modelo de criticidad: RR-051, DP-109, RR-047 y DP-118. La estimación se realizó a partir de la longitud de cada colector y de la estrategia de intervención asignada mediante el diagnóstico realizado para cada tramo.

El análisis consolidado determina una inversión total de 16.860 UF para intervenir 2.032 metros de red pública de alcantarillado. Esto equivale a un costo promedio ponderado de 8,3 UF por metro lineal, valor significativamente inferior al costo promedio de una renovación convencional mediante licitación pública, estimado en 22 UF/m.

Este resultado refleja el impacto directo de la estrategia de gestión propuesta, la cual combina tecnologías de rehabilitación sin zanja para los activos estructuralmente recuperables y renovación convencional únicamente en aquellos tramos donde el deterioro impide una solución de rehabilitación. De esta forma, el modelo permite optimizar la asignación del CAPEX, concentrando los recursos en los sectores de mayor criticidad y reduciendo el costo global de intervención de la red. El detalle de los tramos seleccionados a renovar y rehabilitar, en conjunto con su valor unitario y total en UF, se encuentra detallado en el ANEXO 2.

8. Resultados Globales de la Investigación

La aplicación de la metodología desarrollada en esta investigación permitió integrar información proveniente del catastro geoespacial de la red, registros históricos de operación, antecedentes de mantenimiento, inspecciones televisivas y análisis económico de alternativas de intervención, conformando un modelo de gestión orientado a mejorar la planificación de inversiones en la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica.

Durante el desarrollo metodológico se obtuvieron diversos resultados parciales asociados a la caracterización de la infraestructura, la construcción de indicadores de criticidad, la validación mediante inspecciones CCTV y la evaluación económica de distintas estrategias de intervención. En este capítulo dichos resultados se presentan de forma integrada, sintetizando los principales hallazgos que responden directamente al objetivo general de la investigación y evidenciando la relación existente entre el estado físico de los activos, su comportamiento operacional y las decisiones de inversión.

El análisis desarrollado permitió comprobar que la gestión de redes de alcantarillado no puede sustentarse únicamente en la atención de contingencias o en la antigüedad de las tuberías. Por el contrario, la integración de múltiples variables estructurales, operacionales y territoriales permitió construir una visión más representativa del comportamiento real de la infraestructura, identificando los sectores donde el riesgo de falla y el impacto operacional resultan significativamente superiores al promedio de la red.

Con el propósito de presentar los resultados de manera consistente con la metodología aplicada, éstos se agrupan en tres ejes principales. En primer lugar, se exponen los resultados obtenidos mediante el análisis de criticidad, el cual permitió caracterizar el estado de la red y jerarquizar los sectores prioritarios de intervención. En segundo término, se presentan los resultados derivados de la validación en terreno mediante inspección televisiva, utilizada para verificar la condición estructural de los activos previamente priorizados por el modelo. Finalmente, se muestran los resultados económicos obtenidos al evaluar distintas estrategias de renovación y rehabilitación, evidenciando el potencial de optimización del gasto de capital (CAPEX) asociado a la aplicación de la metodología propuesta.

8.1. Resultados del Análisis por Criticidad de los Colectores

El primer resultado relevante de la investigación corresponde a la construcción de un modelo multicriterio capaz de integrar información que hasta ahora se encontraba dispersa entre diferentes plataformas utilizadas por la empresa sanitaria. La incorporación conjunta de antecedentes provenientes del Sistema de Información Geográfica (GIS), registros históricos de obstrucciones, mantenciones preventivas y correctivas, eventos de afloramiento, succiones de cámaras y

características físicas de los colectores permitió transformar un conjunto de datos aislados en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones.

El procesamiento de estos antecedentes permitió identificar patrones claros de deterioro dentro de la red de Arica. La caracterización realizada evidenció que una parte importante de la infraestructura corresponde a colectores construidos en cemento comprimido, muchos de ellos con más de sesenta años de servicio, condición que supera ampliamente la vida útil considerada para este tipo de material. Esta situación explica gran parte de la vulnerabilidad observada en la red y constituye uno de los principales factores que condicionan el desempeño operacional del sistema.

La agregación de los indicadores individuales mediante la metodología de gestión por ramales permitió cambiar la escala tradicional de análisis desde el colector individual hacia unidades operativas representativas de cada sector de la ciudad. Este procedimiento facilitó la identificación de zonas donde convergen simultáneamente deterioro estructural, alta frecuencia de eventos operacionales y mayor probabilidad de afectar la continuidad del servicio.

Como resultado de este proceso se obtuvo un ranking de criticidad que permitió aislar el grupo de ramales con peor desempeño relativo dentro de la red. Los sectores RR-051, DP-109, RR-047 y DP-118 concentraron los mayores niveles de riesgo y fueron seleccionados como casos prioritarios para la etapa de validación en terreno, constituyendo la base técnica para el desarrollo de las siguientes fases de la investigación.

8.2. Resultados de la validación mediante Inspección Televisiva (CCTV)

Una vez identificados los sectores prioritarios, el segundo resultado de la investigación estuvo asociado a la validación de la condición estructural real de los activos mediante inspección televisiva.

La aplicación dirigida de CCTV permitió reducir considerablemente la incertidumbre asociada al diagnóstico de la red. En lugar de ejecutar campañas masivas de inspección sobre la totalidad del sistema, la metodología concentró los esfuerzos únicamente sobre los sectores previamente priorizados por el modelo de criticidad, optimizando el uso de recursos técnicos y económicos destinados al diagnóstico.

Las inspecciones confirmaron la existencia de una estrecha relación entre el comportamiento operacional registrado históricamente y el estado físico de las tuberías. En los sectores de mayor criticidad se constató la presencia de desgaste avanzado por corrosión biogénica, pérdida de espesor de las paredes, deformaciones locales, intrusión de materiales del terreno y daños estructurales que explican la recurrencia de obstrucciones y mantenciones observadas durante los últimos años.

Adicionalmente, la inspección permitió detectar inconsistencias relevantes en el catastro de la empresa sanitaria. En distintos tramos se comprobó que colectores registrados administrativamente como PVC correspondían en realidad a tuberías antiguas de cemento comprimido, situación que evidencia la importancia de utilizar el CCTV no solo como herramienta de diagnóstico estructural, sino también como mecanismo de actualización y validación del inventario de activos.

Finalmente, la información obtenida permitió clasificar técnicamente cada colector según la alternativa de intervención más adecuada. Mientras algunos tramos presentaban condiciones compatibles con procesos de rehabilitación mediante tecnologías sin zanja, otros evidenciaban daños estructurales que hacían necesaria su renovación mediante métodos tradicionales. Esta diferenciación permitió asignar la solución técnicamente más conveniente para cada activo, evitando tanto reemplazos innecesarios como rehabilitaciones técnicamente inviables.

8.3. Resultados del Análisis Económico y Optimización del CAPEX

El tercer resultado corresponde a la evaluación económica del modelo de gestión propuesto.

La integración del análisis de criticidad con el diagnóstico estructural permitió construir un plan de inversiones basado en la condición real de los activos, asignando la tecnología de intervención más apropiada para cada tramo de la red. Este enfoque hizo posible combinar estratégicamente la rehabilitación mediante tecnologías sin zanja con la renovación convencional únicamente en aquellos colectores cuya condición estructural impedía una recuperación mediante CIPP.

La aplicación de esta estrategia sobre los cuatro ramales priorizados permitió valorizar un total de 2.032 metros de red pública, obteniendo un presupuesto consolidado de 16.860 UF, equivalente a un costo promedio de 8,3 UF por metro lineal intervenido.

Al comparar estos resultados con un escenario donde la totalidad de los colectores hubiese sido renovada mediante zanja abierta utilizando licitación pública tradicional, se observa una diferencia económica significativa. Bajo ese escenario el costo estimado habría alcanzado aproximadamente 44.704 UF, mientras que la metodología propuesta permitió reducir el requerimiento de inversión en 27.844 UF, equivalente a una optimización cercana al 62 % del gasto de capital.

Más allá del ahorro económico, el análisis permitió evidenciar beneficios adicionales asociados a la reducción de excavaciones, menor intervención sobre pavimentos urbanos, disminución de tiempos de ejecución y reducción del impacto generado sobre la comunidad y el tránsito de la ciudad. Asimismo, la utilización selectiva de tecnologías sin zanja libera capacidad operativa de los contratos de emergencia, permitiendo que éstos continúen destinados principalmente a la atención de contingencias imprevistas.

En conjunto, estos resultados muestran que la aplicación integrada del modelo propuesto permite mejorar la priorización técnica de las inversiones, optimizar el uso del presupuesto disponible y fortalecer la planificación de largo plazo de la infraestructura sanitaria de la ciudad de Arica, proporcionando una base objetiva para la toma de decisiones en materia de renovación y rehabilitación de redes.

8.4. Aspecto Medioambiental

Los resultados obtenidos permiten identificar ventajas ambientales y urbanas asociadas al uso de tecnologías sin zanja, particularmente CIPP. Su aplicación en los tramos técnicamente compatibles permite reducir excavaciones, movimientos de tierra, retiro de material y reposición de pavimentos, disminuyendo con ello la intervención física del entorno, la generación de residuos y el uso prolongado de maquinaria pesada frente a la renovación convencional mediante zanja abierta.

En este sentido, la selección diferenciada de alternativas permitió concentrar la rehabilitación CIPP en los tramos que presentaban condiciones adecuadas, reservando la zanja abierta para aquellos casos donde el deterioro estructural impedía una solución sin excavación. Si bien la investigación no cuantificó directamente indicadores de huella de carbono o emisiones, los resultados evidencian que esta estrategia contribuye a reducir las intervenciones sobre el espacio urbano y constituye una ventaja ambiental complementaria a los beneficios técnicos y económicos obtenidos.

9. CONCLUSIONES

El desarrollo de la investigación permitió analizar de manera integral la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica y cumplir el objetivo general y los objetivos específicos planteados al inicio del estudio. A partir de la integración de información geoespacial, registros operacionales, antecedentes históricos, inspecciones televisivas y evaluación económica de alternativas de intervención, fue posible diseñar y validar un modelo de gestión orientado a optimizar la planificación de inversiones en infraestructura sanitaria mediante un enfoque basado en criticidad y gestión de activos.

Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones:

- **La integración de información técnica y operacional mejora significativamente la capacidad de diagnóstico de la red.**

La investigación demostró que la información disponible en la empresa sanitaria, aunque abundante, se encontraba distribuida entre distintos sistemas de información y plataformas operacionales. La integración del catastro GIS con los registros históricos de Sipreco, Survey123 y demás antecedentes operacionales permitió construir una visión integral del comportamiento de la red, incorporando simultáneamente variables físicas, operacionales y territoriales. Esta integración hizo posible identificar patrones de deterioro que no podían ser detectados mediante el análisis aislado de cada fuente de información.

- **La metodología multicriterio permitió priorizar objetivamente los sectores de mayor riesgo de la red.**

La formulación del indicador de criticidad y su posterior agregación mediante la unidad operativa de ramal demostraron ser herramientas eficaces para jerarquizar la infraestructura según su nivel de riesgo relativo. El modelo permitió identificar como sectores prioritarios los ramales RR-051, DP-109, RR-047 y DP-118, los cuales concentraban simultáneamente elevados niveles de deterioro estructural, recurrencia de eventos operacionales y mayor probabilidad de afectar la continuidad del servicio. Estos resultados evidencian que la gestión basada en criticidad constituye un soporte objetivo para la planificación de inversiones y supera el enfoque tradicional basado exclusivamente en la atención de emergencias.

- **La inspección televisiva confirmó la capacidad predictiva del modelo y redujo la incertidumbre en la toma de decisiones.**

La validación mediante CCTV permitió verificar la condición estructural de los ramales priorizados, corroborando la existencia de daños asociados al envejecimiento del cemento comprimido, la corrosión biogénica y la influencia de

los suelos salinos característicos de Arica. Asimismo, la inspección identificó inconsistencias en el catastro institucional, detectando colectores registrados como PVC que correspondían realmente a tuberías antiguas de cemento comprimido. Estos resultados demuestran que el modelo de criticidad constituye un filtro eficaz para focalizar las inspecciones televisivas únicamente en los sectores donde aportan mayor valor técnico.

- **La selección diferenciada de tecnologías de intervención permitió optimizar la inversión en infraestructura sanitaria.**

Uno de los principales aportes de la investigación corresponde a la incorporación de un árbol de decisión que relaciona el estado estructural de cada colector con la alternativa de intervención más adecuada. Los resultados demostraron que no todas las tuberías críticas requieren renovación mediante zanja abierta; una parte importante de ellas puede ser rehabilitada mediante tecnologías sin zanja, siempre que mantengan condiciones geométricas compatibles con este tipo de soluciones. Esta diferenciación técnica permite intervenir cada activo con la alternativa más eficiente, optimizando tanto los recursos económicos como el impacto urbano asociado a las obras.

- **El modelo propuesto genera beneficios técnicos, económicos y operacionales para la gestión de activos.**

La evaluación económica realizada sobre los cuatro ramales críticos permitió cuantificar una inversión total de 16.860 UF para intervenir 2.032 metros de red, equivalente a un costo promedio de 8,3 UF por metro lineal. Comparado con un escenario basado exclusivamente en renovación mediante licitación pública tradicional, cuyo costo habría alcanzado 44.704 UF, el modelo propuesto representa una reducción de 27.844 UF, equivalente a un ahorro del 62,3 % del presupuesto de inversión. Además del beneficio financiero, la utilización selectiva de tecnologías sin zanja disminuye la necesidad de excavaciones profundas, reduce la afectación del tránsito urbano, optimiza el uso de las cuadrillas de emergencia y contribuye a mejorar la continuidad operacional del servicio.

- **La investigación confirma la necesidad de avanzar hacia una gestión patrimonial basada en datos y planificación de largo plazo.**

Los resultados obtenidos evidencian que el envejecimiento progresivo de la infraestructura sanitaria exige abandonar modelos de mantenimiento predominantemente reactivos y avanzar hacia una gestión sustentada en información objetiva sobre la condición de los activos. La metodología desarrollada entrega una herramienta replicable para apoyar la programación del CAPEX, orientar campañas de inspección, priorizar intervenciones y fortalecer la gestión

patrimonial de la empresa sanitaria, contribuyendo a una administración más eficiente y sostenible de la infraestructura pública.

- **Perspectiva profesional y valórica**

Desde una perspectiva profesional, el desarrollo de esta investigación reafirma que la ingeniería sanitaria trasciende el diseño y la reparación de infraestructura. La gestión de activos implica tomar decisiones que afectan directamente la continuidad de un servicio esencial para la población, la protección del medio ambiente y el uso responsable de los recursos públicos y privados destinados a inversión. En este contexto, la incorporación de herramientas de análisis, criterios técnicos objetivos y tecnologías de rehabilitación no solo mejora la eficiencia económica de las organizaciones, sino que también fortalece el compromiso con una gestión más responsable, transparente y orientada al bienestar de las personas. La experiencia desarrollada en esta investigación demuestra que una adecuada integración entre ingeniería, información y planificación constituye un elemento clave para enfrentar los desafíos futuros de la infraestructura sanitaria en ciudades como Arica.

10. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda avanzar hacia la implementación progresiva de un modelo integral de gestión de activos para la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica, incorporando de manera permanente criterios técnicos, operacionales y económicos en la planificación de inversiones. Los resultados demostraron que la integración de información proveniente del catastro GIS, los registros operacionales y las inspecciones en terreno permite mejorar significativamente la calidad de las decisiones asociadas a la renovación y rehabilitación de la infraestructura sanitaria.

Como primera medida, se recomienda institucionalizar la metodología desarrollada en esta investigación como parte del proceso anual de planificación del CAPEX de Aguas del Altiplano. La matriz de criticidad propuesta constituye una herramienta objetiva para priorizar intervenciones, permitiendo orientar los recursos hacia aquellos sectores donde el riesgo operacional y estructural es mayor, reemplazando gradualmente los criterios basados exclusivamente en la ocurrencia de emergencias.

En relación con la gestión de la información, resulta recomendable fortalecer la integración y actualización permanente de las bases de datos institucionales. La interoperabilidad entre el Sistema de Información Geográfica (GIS), los registros de mantenimiento, los eventos históricos de Sipreco, las inspecciones realizadas mediante Survey123 y los resultados de teleinspección CCTV permitirá disponer de un inventario confiable y dinámico, reduciendo la incertidumbre asociada al estado real de los activos.

Asimismo, se recomienda que las inspecciones mediante circuito cerrado de televisión (CCTV) sean incorporadas como una etapa obligatoria de validación técnica previa a la ejecución de proyectos de rehabilitación o renovación. Sin embargo, considerando el costo de estas inspecciones, su aplicación debería realizarse de forma focalizada, priorizando únicamente aquellos ramales identificados como críticos por la matriz de riesgo. De esta forma se optimiza el uso de los recursos destinados al diagnóstico, manteniendo altos niveles de confiabilidad en la toma de decisiones.

En materia de planificación de inversiones, se recomienda mantener un enfoque diferenciado entre rehabilitación y renovación. Los resultados obtenidos demostraron que la aplicación de tecnologías sin zanja (CIPP) constituye una alternativa altamente eficiente para colectores que conservan estabilidad estructural, mientras que la renovación mediante zanja abierta debe reservarse para aquellos tramos que presentan fallas estructurales irreversibles. Esta estrategia permite maximizar el rendimiento del CAPEX y reducir significativamente los impactos operacionales y urbanos asociados a las obras civiles tradicionales.

Del mismo modo, resulta conveniente fortalecer los programas de mantenimiento preventivo y predictivo. La investigación evidenció que una parte importante de los problemas operacionales puede abordarse antes de que evolucionen hacia fallas estructurales mayores, disminuyendo la ocurrencia de reboses, reduciendo los costos de emergencia y mejorando la continuidad del servicio.

Desde el punto de vista organizacional, se recomienda continuar fortaleciendo las competencias técnicas de los equipos responsables de la gestión de redes, incorporando formación especializada en gestión de activos, análisis de criticidad, interpretación de inspecciones CCTV y tecnologías de rehabilitación sin zanja. La correcta aplicación de estas herramientas depende en gran medida del conocimiento técnico de quienes participan en la planificación y ejecución de las intervenciones.

Como línea de desarrollo futuro, sería recomendable ampliar el modelo incorporando nuevas variables que permitan incrementar su capacidad predictiva. Entre ellas destacan la incorporación de modelos estadísticos de deterioro, técnicas de aprendizaje automático para la predicción de fallas, análisis de ciclo de vida de los activos y estudios específicos sobre el comportamiento de los materiales frente a las condiciones de alta salinidad características de la ciudad de Arica. Asimismo, resulta de interés evaluar el desempeño a largo plazo de las tecnologías de rehabilitación sin zanja bajo las condiciones geotécnicas y ambientales propias de la zona.

Finalmente, se recomienda extender la metodología propuesta a otros sectores operacionales de la empresa e incluso a otras empresas sanitarias del país que presenten problemáticas similares asociadas al envejecimiento de sus redes. La estructura metodológica desarrollada en esta investigación demuestra que es posible integrar información técnica, operacional y económica para construir herramientas objetivas de apoyo a la decisión, contribuyendo a una gestión de activos más eficiente, sostenible y orientada al riesgo.

11. BIBLIOGRAFÍA

La investigación consideró la consulta de diversas fuentes digitales especializadas, incluyendo organismos reguladores, asociaciones técnicas internacionales, bases de datos científicas y plataformas de gestión de infraestructura hídrica. Estas fuentes permitieron complementar la revisión bibliográfica mediante la obtención de antecedentes normativos, documentos técnicos, estadísticas sectoriales y publicaciones relacionadas con la gestión de activos, rehabilitación de colectores, tecnologías sin zanja, sistemas de soporte a la decisión e innovación aplicada a redes de alcantarillado sanitario.

Aghdam, A., et al. (2023). Assessment of sanitary sewer overflow impacts on public health and environmental quality.

Allouche, E. N., Alam, S., Simicevic, J., Sterling, R., Condit, W., Matthews, J., & Selvakumar, A. (2014). A pilot study for retrospective evaluation of cured-in-place pipe rehabilitation technologies.

American Water Works Association. (2012). Buried No Longer: Confronting America's Water Infrastructure Challenge. Denver, Colorado.

Ana, E. V., & Bauwens, W. (2010). Modeling the structural deterioration of urban drainage pipes: the state-of-the-art in statistical methods. *Urban Water Journal, 7*(1), 47-59. https://doi.org/10.1080/15730620903447597

Bakry, I., Moselhi, O., & Zayed, T. (2016). Condition assessment of rehabilitated sewer pipelines using regression-based models. Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice.

Baranov, E., et al. (2021). Reliability assessment of branched wastewater collection networks.

Baur, R., & Herz, R. K. (2002). Selective inspection planning with ageing models for sewer networks. Urban Water, 4(4), 389–396.

British Standards Institution. (1998). BS EN 752-5: Drain and Sewer Systems Outside Buildings – Rehabilitation.

Caradot, N., Sonnenberg, H., Kropp, I., & Rouault, P. (2018). Benchmarking statistical and machine-learning models for sewer deterioration prediction. Structure and Infrastructure Engineering.

Carvallo, C. (2025). *MWM 130 Eficiencia hídrica* [Diapositiva de PowerPoint]. Repositorio Master of Water Management. Universidad Técnica Federico Santa María. https://aula.usm.cl/

Catalán, P. (2025). MWM 140: Riesgo y conflicto en la gestión de los recursos hídricos. Universidad Técnica Federico Santa María.

Chile. Decreto con Fuerza de Ley N.º 382. (1988). Ley General de Servicios Sanitarios. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

Chile. Ley Nº 18.902. (1990). Ley que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Santiago, Chile.

Halfawy, M. R. (2013). Integrated decision support systems for infrastructure asset management. Structure and Infrastructure Engineering, 9(2), 108–124.

Homsi, J. (2024). MWM 410: Gestión de la depuración y reutilización. Universidad Técnica Federico Santa María.

Hussain, M., et al. (2025). Artificial intelligence applications in sewer asset management: A systematic review.

International Society for Trenchless Technology. (2018). Libro Blanco de las Tecnologías Sin Zanja.

International Water Association. (2004). Performance Indicators for Water Supply Services.

Karimi, H., et al. (2025). Multi-hazard vulnerability assessment of buried infrastructure systems.

Kresse, A. (2024). MWM 120: Gestión, captación y tratamiento de agua. Universidad Técnica Federico Santa María.

Kresse, A. (2024). MWM 510: Planificación y dirección estratégica. Universidad Técnica Federico Santa María.

Lerer, S. M., et al. (2022). Multicriteria decision analysis for sustainable water infrastructure planning.

Li, X., et al. (2025). Artificial intelligence algorithms applied to urban flood prediction: A systematic review.

Liu, Y., et al. (2018). GIS-based 3D visualization framework for underground infrastructure management.

Makar, J. M. (1999). Diagnostic techniques for buried infrastructure assessment. Journal AWWA.

Montero, F. G. (2023). Metodología de gestión y priorización de colectores urbanos mediante ramales e indicadores de desempeño. Universidad Técnica Federico Santa María.

Nashat, S., & Zayed, T. (2025). Hybrid approaches integrating artificial intelligence and deterioration modelling for sewer asset management.

National Association of Sewer Service Companies. (2020). Pipeline Assessment Certification Program (PACP).

National Association of Sewer Service Companies. (2022). Pipeline Assessment Certification Program (PACP), Version 8.

New England Interstate Water Pollution Control Commission & United States Environmental Protection Agency. (2003). Optimizing Operation, Maintenance and Rehabilitation of Sanitary Sewer Collection Systems.

New South Wales Office of Water. (2011). Total Asset Management Planning Guidelines for Water Supply and Sewerage Utilities.

Ottone, F. (2025). MWM 400: Gestión de redes. Universidad Técnica Federico Santa María.

Palma, A. (2025). MWM 540: Gestión de clientes. Universidad Técnica Federico Santa María.

Patel, D., & Nihalani, P. (2023). Geographic information systems for urban sewer infrastructure management.

Peña, P. (2025). MWM 530: Sistemas de gestión. Universidad Técnica Federico Santa María.

Quintana, J., et al. (2020). Critical infrastructure resilience assessment under multiple hazard scenarios.

Ramos-Salgado, I., et al. (2021). Decision support systems and spatial clustering methodologies for sewer replacement prioritization.

Reyes, T. (2025). MWM 550: Innovación y gestión de proyectos. Universidad Técnica Federico Santa María.

Roghani, M., et al. (2024). Fuzzy logic and analytic hierarchy process approaches for sewer infrastructure risk assessment.

Rubio, P. (2025). MWM 500: Gobernanza y economía del agua. Universidad Técnica Federico Santa María.

Ruwanpura, J., et al. (2004). Stochastic deterioration modelling for buried infrastructure assets.

Shaban, A., et al. (2023). Scientometric review of deterioration predictors for water and wastewater pipelines.

Soria, D., & Castilla, H. (2022). Renovación integral de redes sanitarias basada en diagnóstico estructural y vida útil.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2022). Estudio de percepción de usuarios de servicios sanitarios 2022. Santiago, Chile.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2022). Informe de gestión del sector sanitario 2022. Santiago, Chile.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2024). Resolución Exenta N.º 553 que reconoce la metodología NASSCO para inspección televisiva de redes sanitarias. Santiago, Chile.

Valdés-Pineda, R., García-Chevesich, P., Fuster, R., & Pizarro, R. (2014). Water governance in Chile and climate change adaptation challenges. Environmental Science & Policy.

Van Vliet, M., & Kok, K. (2021). Scenario planning and backcasting approaches for water resources management.

Viera, O. (2025). MWM 530: Sistemas de gestión. Universidad Técnica Federico Santa María.

Water New Zealand. (2015). Infiltration and Inflow Management Guidelines.

Wirahadikusumah, R., Abraham, D., Iseley, T., & Prasanth, R. (1998). Assessment technologies for sewer condition evaluation. Automation in Construction, 7(4), 259–270.

Yang, X., et al. (2026). Reliability assessment framework for wastewater collection systems.

Yildizli, M., et al. (2026). Semi-supervised learning for automated sewer defect classification.

12. WEBGRAFÍA

Aguas del Altiplano. Información corporativa, cobertura operacional y catastro regional. https://aguasdelaltiplano.cl/.

American Water Works Association (AWWA). Gestión de activos, envejecimiento de infraestructura y planificación de inversiones. https://www.awwa.org/.

Esri ArcGIS. Plataforma de gestión geoespacial y catastro de redes sanitarias. https://www.esri.com/en-us/home.

International Society for Trenchless Technology (ISTT). Tecnologías sin zanja aplicadas a rehabilitación y renovación de redes. https://istt.com/.

International Water Association (IWA). Indicadores de desempeño y sostenibilidad en servicios de agua y saneamiento. https://www.iwa-network.org/.}

Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP). Políticas públicas, decretos e infraestructura hídrica. https://www.mop.gob.cl/.

National Association of Sewer Service Companies (NASSCO). Programa PACP para inspección televisiva y evaluación de colectores. https://nassco.org/.

North American Society for Trenchless Technology (NASTT). Publicaciones técnicas sobre rehabilitación de infraestructura subterránea. https://nastt.org.

QGIS. Sistema de información geográfica de código abierto. https://qgis.org/.

Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informes sectoriales, normativa, indicadores de gestión y estudios de percepción. https://www.siss.gob.cl/.

United States Environmental Protection Agency (EPA). Operación, mantenimiento y rehabilitación de sistemas de alcantarillado. https://www.epa.gov/.

13. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

GLOSARIO

En este capítulo se introducen el glosario de términos fundamentales y el listado de acrónimos empleados a lo largo del estudio, detallando sus respectivas definiciones y significados.

Activo: Elemento físico que forma parte de la infraestructura sanitaria y que posee valor para la prestación del servicio, tales como colectores, cámaras de inspección y estaciones elevadoras.

Análisis Multicriterio (MCDA): Metodología que permite evaluar diferentes alternativas considerando simultáneamente criterios técnicos, económicos, ambientales y sociales para apoyar la toma de decisiones.

Base de Datos de Activos: Conjunto estructurado de información que contiene las características físicas, operacionales y de condición de los componentes de la red de alcantarillado.

CCTV: Sistema de inspección televisiva mediante cámaras robotizadas que permite evaluar internamente el estado estructural y operacional de los colectores.

Colector: Tubería principal del sistema de alcantarillado destinada a transportar aguas servidas desde redes secundarias hacia instalaciones de tratamiento o disposición final.

Condición Estructural: Estado físico de una tubería determinado por defectos como grietas, fracturas, deformaciones, corrosión o pérdida de material.

Condición Operacional: Capacidad de una tubería para cumplir adecuadamente su función hidráulica, considerando obstrucciones, sedimentación o infiltraciones.

Criticidad: Nivel de importancia de un activo determinado por la combinación entre la probabilidad de falla y las consecuencias asociadas a dicha falla.

Deterioro: Proceso gradual de pérdida de capacidad funcional o estructural de un activo debido a envejecimiento, desgaste o factores externos.

Gestión de Activos: Proceso sistemático mediante el cual una organización administra sus activos físicos durante todo su ciclo de vida para maximizar su desempeño y minimizar costos y riesgos.

GIS (SIG): Herramienta informática que permite almacenar, gestionar, analizar y representar información georreferenciada asociada a la infraestructura sanitaria.

Infiltración: Ingreso no deseado de aguas subterráneas hacia el interior de la red de alcantarillado a través de defectos estructurales.

Inspección Multisensorial: Tecnología que combina herramientas como CCTV, sonar y perfilado láser para evaluar integralmente el estado de una tubería.

Inteligencia Artificial: Conjunto de técnicas computacionales capaces de identificar patrones y apoyar procesos de predicción y toma de decisiones.

KPI: Indicador cuantitativo utilizado para medir el desempeño de un proceso o sistema.

Mantenimiento Predictivo: Estrategia de mantenimiento basada en el monitoreo y análisis de datos para anticipar fallas antes de que ocurran.

Matriz de Criticidad: Herramienta de gestión que clasifica activos según la combinación de probabilidad de falla y consecuencias asociadas.

PACP: Metodología desarrollada por NASSCO para la codificación estandarizada de defectos observados durante inspecciones televisivas.

Probabilidad de Falla: Posibilidad de que un activo presente una condición que afecte su funcionamiento durante un período determinado.

Rehabilitación: Intervención destinada a recuperar la capacidad funcional o estructural de una tubería existente sin reemplazarla completamente.

Renovación: Sustitución total o parcial de un activo cuya condición ya no permite una rehabilitación técnica o económicamente viable.

Riesgo: Combinación entre la probabilidad de ocurrencia de una falla y las consecuencias derivadas de ella.

SSO (Sanitary Sewer Overflow): Evento de rebalse de aguas servidas desde la red de alcantarillado hacia el entorno.

Tecnologías Sin Zanja (TSZ): Conjunto de técnicas constructivas que permiten inspeccionar, rehabilitar o reemplazar tuberías minimizando excavaciones superficiales.

Trenchless Technology: Denominación internacional de las Tecnologías Sin Zanja.

Vulnerabilidad: Grado de susceptibilidad de un activo frente a factores que pueden generar deterioro o falla, tales como antigüedad, corrosión, cargas externas o condiciones del suelo.

Vida Útil: Período durante el cual un activo puede cumplir adecuadamente su función bajo condiciones normales de operación.

Zanja Abierta (Open Cut): Método tradicional de reemplazo de tuberías que requiere excavación completa desde la superficie.

ACRÓNIMOS

AHP: Analytic Hierarchy Process (Proceso Analítico Jerárquico)

AI: Artificial Intelligence (Inteligencia Artificial)

ArcGIS: Geographic Information System de ESRI

AWWA: American Water Works Association

CAPEX: Capital Expenditure (Gastos de Inversión)

CCTV: Closed Circuit Television (Inspección Televisiva de Tuberías)

CIPP: Cured-In-Place Pipe (Tubería Curada en Sitio)

DSS: Decision Support System (Sistema de Soporte a la Decisión)

DFL: Decreto con Fuerza de Ley

GIS: Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)

GPS: Global Positioning System

IA: Inteligencia Artificial

I&I: Infiltration and Inflow (Infiltración y Afluencia)

IbSTT: Iberian Society for Trenchless Technology

IWA: International Water Association

KPI: Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño)

LoS: Level of Service (Nivel de Servicio)

MCDA: Multi-Criteria Decision Analysis (Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones)

ML: Machine Learning (Aprendizaje Automático)

MWM: Master of Water Management (Magíster en Gestión del Agua)

NASSCO: National Association of Sewer Service Companies

NEIWPCC: New England Interstate Water Pollution Control Commission

O&M: Operation and Maintenance (Operación y Mantenimiento)

OPEX: Operational Expenditure (Gastos Operacionales)

PACP: Pipeline Assessment and Certification Program

PI: Performance Indicator (Indicador de Desempeño)

RFID: Radio Frequency Identification

RSA: Risk and Sustainability Assessment

SES: Socio-Ecological Systems

SIG: Sistema de Información Geográfica

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios

SSO: Sanitary Sewer Overflow (Rebalse de Aguas Servidas)

TAMP: Total Asset Management Plan

TSZ: Tecnologías Sin Zanja

UHF: Ultra High Frequency

UTFSM: Universidad Técnica Federico Santa María

ANEXO 1

FUNDAMENTO DE LA TESINA

El cuadro siguiente sintetiza los principales fundamentos que dieron origen al desarrollo de la presente investigación, integrando los aspectos estratégicos, metodológicos, institucionales y profesionales que sustentan la propuesta de mejoramiento del modelo de gestión de la red de colectores urbanos de la ciudad de Arica. Su propósito es presentar, de manera estructurada, los elementos que justifican la pertinencia del estudio, su aporte al ámbito de la gestión del agua y su aplicación práctica en la planificación de la infraestructura sanitaria.

En este contexto, se resumen los objetivos que orientan la investigación, la problemática que motiva su desarrollo, la relevancia institucional para Aguas del Altiplano, la factibilidad de implementación de la propuesta y su vinculación con los contenidos del Magíster en Gestión del Agua. Asimismo, se destaca el impacto esperado del modelo sobre la gestión de activos sanitarios, la optimización de las inversiones en renovación y rehabilitación de colectores y el fortalecimiento de la toma de decisiones basada en información técnica confiable.

De esta forma, el cuadro constituye una visión integrada de los antecedentes que sustentan la investigación y permite comprender, desde el inicio del documento, la necesidad de avanzar hacia un modelo de gestión predictivo que contribuya a mejorar la sostenibilidad, confiabilidad y eficiencia de la red de alcantarillado de la ciudad de Arica.

CARACTERÍSTICAS DE LA IDEA DE LA TESINA o TRABAJO DE POSTGRADO	**TITULOS** **1.- "Mejoramiento del modelo de gestión de la red de colectores urbanos de Arica".** **Objetivo Principal (General)** Evaluar el modelo de gestión para la renovación o rehabilitación de los colectores urbanos, en la ciudad de Arica; realizando un análisis crítico al actual sistema de información aplicado a la red; con el propósito de optimizar la inversión y el uso de nuevas tecnologías. **Objetivos Específicos** (Estado del arte) 1.- Conocer los documentos escritos de los diferentes sistemas del estado actual de la red de colectores urbanos (Estado del arte) 2.- Asociar los conocimientos adquiridos durante el magister en gestión del agua aplicado a optimizar la red de colectores. (Estado del arte) 3.- Comprender el sistema de información actualmente utilizado para la gestión de la red de colectores, evaluando su nivel de confiabilidad, actualización y utilidad para la toma de decisiones. (marco teórico) 4.- Plantear el marco teórico fundamentándose en los objetivos específicos 1,2 y3. (sujeto de estudio) 5.- Establecer una base de datos para **c**aracterizar la infraestructura existente de la red de colectores

	urbanos de Arica**,** considerando antigüedad, materiales, diámetros, ubicación y condiciones estructurales (propuesta metodológica) 6.- Definir herramientas tecnológicas y metodológicas (KPI) modernas aplicadas a la gestión, inspección y rehabilitación de redes de alcantarillado 7.- Analizar el historial de fallas y emergencias sanitarias registradas en la red de colectores 8.- Analizar el impacto de las fallas en la red de colectores sobre la continuidad del servicio sanitario y la percepción de los usuarios (aplicación metodológica) 9.- Generar modelo de gestión, indicadores de desempeño, utilizando la herramienta definida sobre los datos analizados, para la gestión de la red de colectores**,** que permitan evaluar su funcionamiento y apoyar la toma de decisiones 10.- Determinar el grado de vulnerabilidad de los colectores urbanos frente a factores externos como antigüedad, cargas hidráulicas, infiltración de aguas subterráneas y condiciones del suelo. (resultados) 11.- Generar el potencial de optimización de las inversiones en la red de colectores urbanos mediante la aplicación del modelo de gestión desarrollado, considerando criterios técnicos, operacionales y de continuidad del servicio sanitario. (recomendaciones) 12.- Recomendar criterios de priorización para la inversión en la renovación y rehabilitación de colectores, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y la continuidad del servicio sanitario.

	13.- Proponer lineamientos técnicos y estratégicos para mejorar la planificación de inversiones en renovación y rehabilitación de colectores urbanos.
Porque es una idea **ORIGINAL**, que es propia del alumno	La presente propuesta surge a partir de una solicitud de la Jefatura Regional de Aguas del Altiplano, debido a la grave problemática que actualmente presenta la ciudad de Arica en relación con el estado crítico de su red de colectores de alcantarillado. El deterioro de esta infraestructura ha generado una gran cantidad de rebalses tanto en viviendas como en la vía pública, lo que ha derivado en exigencias de indemnización y un aumento significativo de los costos asociados a reparaciones. A esta situación, se suma el incremento de los costos de renovación mediante el método tradicional de zanja abierta, principalmente debido a la reposición de pavimentos en los sectores intervenidos. Por esta razón, se plantea la necesidad de estudiar alternativas que permitan disminuir los costos de intervención y reducir el impacto en la población, especialmente en áreas urbanas con alta circulación y densidad. En este contexto, el objetivo del presente trabajo es proponer un modelo de gestión organizado que permita planificar, mejorar y modernizar las tuberías del sistema de alcantarillado de la ciudad de Arica, particularmente los colectores urbanos bajo un enfoque sostenible. Este modelo considerará aspectos ambientales, económicos y de durabilidad a largo plazo de la infraestructura. Asimismo, se propone incorporar innovación y nuevas tecnologías orientadas a la rehabilitación y

	renovación de redes de alcantarillado que actualmente presentan problemas asociados a su antigüedad, tales como roturas, rebalses o insuficiente capacidad hidráulica. Cabe señalar que, tanto a nivel regional como dentro de la empresa, no se evidencian antecedentes de estudios o trabajos previos orientados a la planificación estratégica de la renovación de colectores, ya que las intervenciones realizadas hasta la fecha se han ejecutado principalmente de manera reactiva, es decir, en respuesta al colapso o falla de los colectores existentes.
Motivos personales o profesionales **MOTIVACION** por desarrollar el tema	La motivación para realizar este trabajo surge de mi experiencia directa en el desempeño de mis funciones laborales, donde diariamente se evidencian diversos problemas asociados a rebalses de aguas servidas. Estos eventos se producen principalmente por roturas derivadas de fallas estructurales o por obstrucciones generadas por el mal estado de la red de alcantarillado. Cabe destacar que aproximadamente el 48% de la red está compuesta por tuberías de cemento comprimido, material que en muchos casos ya ha cumplido su vida útil, lo que incrementa la probabilidad de fallas y colapsos. Asimismo, este trabajo busca contribuir a mejorar la imagen de la empresa en la ciudad, de modo que los clientes perciban que existe una preocupación real por su bienestar y por la calidad del servicio prestado, considerando que actualmente la percepción pública no es del todo positiva. Por otra parte, se pretende incrementar la operatividad y confiabilidad de la red de alcantarillado, mediante el desarrollo de una herramienta que permita planificar intervenciones y anticiparse a posibles fallas o colapsos. De esta manera, se podrían evitar situaciones críticas como inundaciones de viviendas o de otras propiedades con aguas servidas. Adicionalmente, esta propuesta permitirá, en el futuro, mejorar las estrategias de mantención preventiva de la red de colectores de la ciudad. En la

	actualidad, debido al debilitado estado estructural de las tuberías de cemento comprimido, en muchas ocasiones las labores de mantención preventiva terminan provocando el colapso de la tubería, transformando una intervención planificada en una emergencia sanitaria, que en varios casos ha derivado en inundaciones completas de viviendas con aguas servidas. Esta situación se ve agravada cuando las fallas ocurren en terrenos salinos, donde las condiciones del suelo aceleran el deterioro de la infraestructura.
Objetivo es posible de lograr es un tema **REALISTA** o aplicado	El objetivo propuesto es factible de alcanzar, ya que busca mejorar la calidad de vida de los clientes y garantizar la continuidad del servicio de alcantarillado. Para ello, se plantea disminuir las intervenciones permanentes de succión realizadas por los camiones combinados (Vactor), las cuales en algunos sectores se han extendido incluso durante años debido al deterioro de la red existente. Esta situación se encuentra directamente relacionada con la necesidad de renovar o rehabilitar las redes de alcantarillado de la ciudad de Arica. Asimismo, la implementación de este enfoque permitiría reducir costos operacionales, aumentar la vida útil de las nuevas redes y generar información que permita analizar la percepción de los clientes respecto del servicio entregado. Por otra parte, la propuesta contribuiría a mejorar la infraestructura sanitaria en sectores con terrenos salinos, donde aún existen tuberías de cemento comprimido que ya han cumplido su vida útil y que presentan fallas de manera periódica, generando reiterados problemas operacionales y sanitarios.
Atractivo tema para la Gestión del Agua **VINCULADO** con el objetivo del magister del agua	Sí, ya que en este trabajo se abordan diversos temas revisados durante el desarrollo de las clases, los cuales permitirán analizar, desde una mirada sistémica, cómo la renovación y/o rehabilitación de los colectores urbanos de la ciudad de Arica, entendida como un proceso de rediseño, modernización y optimización de la infraestructura sanitaria existente y que puede contribuir a mejorar la gestión del sistema de alcantarillado.

	Este análisis considera distintos enfoques, tales como la sostenibilidad del sistema en sus dimensiones ambiental, social y económica; la innovación tecnológica, mediante el uso de herramientas como sensores, nuevos materiales, modelación hidráulica y sistemas de información geográfica (GIS); la gestión de activos sanitarios, incorporando mantención planificada, análisis de ciclos de vida y priorización de inversiones; así como la gestión del riesgo, asociada a fallas estructurales, colapsos e inundaciones. Finalmente, estos elementos permitirán fortalecer los procesos de toma de decisiones de los organismos responsables, tales como la empresa sanitaria, el municipio y la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible del sistema de alcantarillado de la ciudad.
El problema investigado servirá para RESOLVER un tema aplicado desde la **PERSPECTIVA PROFESIONAL**	Sí, ya que este trabajo permitiría abordar y contribuir a la solución de una problemática crítica que actualmente afecta a la ciudad de Arica, la cual representa un alto costo para la empresa y genera frecuentes problemas sanitarios. Su implementación a largo plazo podría ayudar a disminuir estas situaciones, mejorar la continuidad del servicio de alcantarillado y fortalecer la percepción que tienen los clientes respecto de la empresa. En este contexto, la Gerencia Regional se encuentra especialmente preocupada por el precario estado de la red de colectores en la ciudad de Arica y reconoce que históricamente no se ha invertido con la misma intensidad en esta infraestructura en comparación con otras ciudades de la región, como por ejemplo Iquique. A esta situación se suma la escasez hídrica que actualmente afecta a la ciudad de Arica, lo que incrementa la sensibilidad de la población frente a los problemas asociados a los servicios sanitarios. Como resultado, la percepción de los clientes hacia la empresa se mantiene en un nivel regular, lo que refuerza la necesidad de implementar medidas que permitan mejorar la infraestructura y la calidad del servicio prestado.

Otras características	Este trabajo permitirá contribuir a la solución de la problemática existente en la red de colectores. Asimismo, facilitará la priorización de intervenciones y la actualización de la base de datos del sistema, la cual actualmente presenta un nivel de confiabilidad aproximado del 70%. Esto permitirá mejorar la calidad de la información disponible para la planificación, gestión y toma de decisiones relacionadas con la operación y mantenimiento de la red de alcantarillado.

ANEXO 2

Tabla con detalle de valores

Ramal	OBJ CODE	Calle	Desde	Hasta	Dn	Largo	Acción	P. unitario UF/m	Total, UF
RR-051	COL-033656	Barros Arana	Avenida Alejandro Azola	Pucarani	250	60	Rehabilitar	5	300
RR-051	COL-033638	Pucarani	Barros Arana	Avenida Argentina	350	98	Rehabilitar	6	588
RR-051	COL-033656	Barros Arana	Avenida Alejandro Azola	Pucarani	200	40	Rehabilitar	5	200
RR-051	COL-033655	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	91	Renovar	15	1365
RR-051	COL-033637	Avenida Argentina	Pucarani	Pucarani	350	107	Rehabilitar	6	642
RR-051	COL-033657	Avenida Alejandro Azola	Barros Arana	Barros Arana	250	87	Rehabilitar	5	435
RR-051	COL-033654	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	72	Renovar	15	1080
RR-051	COL-033658	Barros Arana	Oscar Quina	Avenida Alejandro Azola	250	105	Rehabilitar	5	525
RR-051	N/A	Pucarani	Barros Arana	Avenida Argentina	350	10	Rehabilitar	6	60
RR-051	COL-057364	Avenida Alejandro Azola	Barros Arana	Barros Arana	200	6	Rehabilitar	5	30
RR-051	COL-033643	Pucarani	Barros Arana	Barros Arana	250	32	Sin Acción	0	0
DP-109	COL-043902	Algarrobo	Avenida Ramon Barros Luco	Azalea	175	118	Renovar	15	1770
DP-109	COL-043897	Los Alamos	Avenida Ramon Barros Luco	Azalea	200	134	Rehabilitar	5	670
DP-109	COL-043902	Algarrobo	Avenida Ramon Barros Luco	Azalea	200	18	Renovar	15	270
DP-109	COL-043898	Los Alamos	Azalea	Capitan Avalos	200	48	Rehabilitar	5	240
DP-109	COL-043900	Avenida Capitan Avalos	Los Alamos	Avenida Capitan Avalos	250	58	Rehabilitar	5	290
DP-109	COL-057371	Los Alamos	Azalea	Capitan Avalos	200	30	Rehabilitar	5	150
DP-109	COL-057372	Los Alamos	Azalea	Capitan Avalos	200	16	Rehabilitar	5	80
DP-109	COL-043903	Algarrobo	Azalea	Capitan Avalos	180	96	Sin Acción	0	0
DP-109	COL-043901	Avenida Capitan Avalos	Algarrobo	Avenida Loa	250	54	Sin Acción	0	0
RR-047	COL-043940	Oscar Quina	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	82	Rehabilitar	5	410

RR-047	COL-043941	Carabineros De Chile	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	64	Rehabilitar	5	320
RR-047	COL-041385	Avenida Alejandro Azola	Carabineros De Chile	Oscar Quina	175	31	Sin acción	0	0
RR-047	COL-041384	Avenida Alejandro Azola	Oscar Quina	Carabineros De Chile	175	34	Rehabilitar	5	170
RR-047	COL-043942	Ejército De Chile	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	65	Renovar	15	975
RR-047	COL-043938	Chuquicamata	Investigaciones De Chile	Ejército De Chile	175	53	Rehabilitar	5	265
RR-047	COL-043167	Investigaciones De Chile	Chuquicamata	Avenida Alejandro Azola	175	66	Rehabilitar	5	330
RR-047	COL-041383	Avenida Alejandro Azola	Ejército De Chile	Carabineros De Chile	175	34	Rehabilitar	5	170
RR-047	COL-043939	Chuquicamata	Ejército De Chile	Oscar Quina	200	83	Renovar	15	1245
RR-047	COL-041382	Avenida Alejandro Azola	Investigaciones De Chile	Ejército De Chile	175	33	Rehabilitar	5	165
DP-118	COL-037095	Avenida Ramon Barros Luco	Pasaje Abedul	Avenida Las Torres	175	76	Sin Acción	0	0
DP-118	COL-043896	Cardenal	Avenida Las Torres	Pasaje Abedul	175	74	Renovar	15	1110
DP-118	COL-043546	Ceibo	Los Avellanos	Avenida Ramon Barros Luco	175	77	Renovar	15	1155
DP-118	COL-043026	Avenida Ramon Barros Luco	Avenida Ramon Barros Luco	Jacaranda	200	51	Rehabilitar	5	255
DP-118	COL-043027	Avenida Ramon Barros Luco	Pasaje Abedul	Ceibo	175	49	Rehabilitar	5	245
DP-118	COL-043759	Pasaje Abedul	Los Avellanos	Pasaje Abedul	175	51	Rehabilitar	5	255
DP-118	COL-043760	Pasaje Abedul	Cardenal	Avenida Ramon Barros Luco	180	56	Renovar	15	840
DP-118	COL-053487	Ceibo	Los Avellanos	Avenida Ramon Barros Luco	200	30	Rehabilitar	5	150
DP-118	COL-053492	Avenida Ramon Barros Luco	Pasaje Abedul	Avenida Las Torres	200	14	Rehabilitar	5	70
DP-118	N/A	Cardenal	Avenida Las Torres	Pasaje Abedul	200	7	Rehabilitar	5	35

ANEXO 3

Propuesta metodológica del trabajo

El desarrollo de la tesina comienza con la revisión del estado del arte y de las referencias del magíster, las cuales constituyen la base conceptual del trabajo. Posteriormente se aborda la definición del sujeto de estudio, la elaboración del marco teórico y la construcción de la base de datos, etapas que permiten estructurar el análisis del sistema de colectores.

En una fase posterior se realiza el levantamiento del inventario de fallas y la definición de herramientas tecnológicas, lo que facilita la aplicación del modelo de gestión propuesto. Finalmente, el estudio se orienta al análisis del impacto de las fallas, la evaluación de vulnerabilidades de la red y la construcción del modelo de optimización, culminando con el establecimiento de un ranking de criterios que permita priorizar intervenciones en la infraestructura sanitaria.

Propuesta metodológica de trabajo			dic-25				ene-26				feb-26				mar-26				abr-26				may-26				jun-26		
N°	Objetivos	Duración (semanas)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	Estado del arte	19																											
2	Referencias Magister	11																											
3	Sujeto estudio	3																											
4	Marco teórico	6																											
5	Establecer base datos	3																											
6	Construir inventario fallas	3																											
7	Definir herramientas tecnológicas	3																											
8	Aplicar modelo de gestión	3																											
9	Analizar impacto de fallas	2																											
10	Calcular vulnerabilidades red	3																											
11	Establecer potencial de optimización	1																											
12	Construcción del modelo	1																											
13	Establecer ranking de criterios	1																											

ANEXO 4

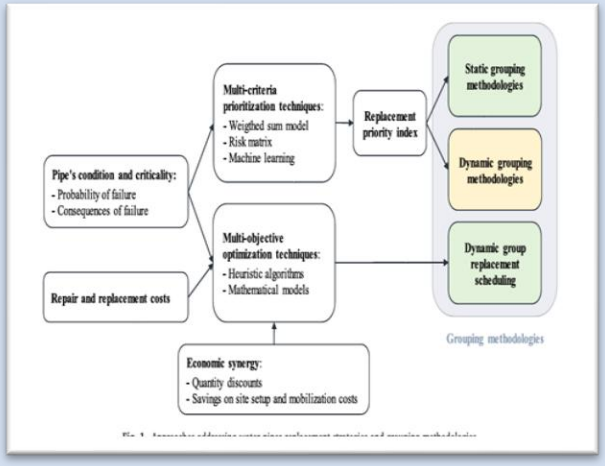
FICHAS DE INVESTIGACIÓN

LECTURA 1	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	*Renovación del sistema de agua potable y alcantarillado de la Urbanización La Angostura – Ica*. Trabajo académico de grado, Perú.
Palabras claves:	• Renovación de alcantarillado; redes de colectores • Diagnóstico de redes sanitarias • Vida útil de infraestructura • Rehabilitación de sistemas • Planificación sanitaria • Normativa técnica.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 2. **Redacciones propias**	1.- “En el sistema de Alcantarillado se ha proyectado la renovación de todo el sistema incluyendo conexiones domiciliarias, buzones, redes, cámara de bombeo de desagüe y línea de impulsión” 1.- “Un 90 % de las tuberías ya han cumplido su tiempo de vida útil” 1.- “Si no se realiza una renovación de redes, se van a acrecentar las roturas como consecuencia de que la tubería ha cumplido su vida útil” 2.- El trabajo desarrolla un enfoque técnico de renovación integral del sistema de alcantarillado, sustentado en el diagnóstico del estado físico, la antigüedad de los activos y el cumplimiento normativo. La necesidad de renovación se fundamenta principalmente en el agotamiento de la vida útil de los componentes, deficiencias estructurales y riesgos operacionales, abordando la problemática desde una lógica de reemplazo completo del sistema.

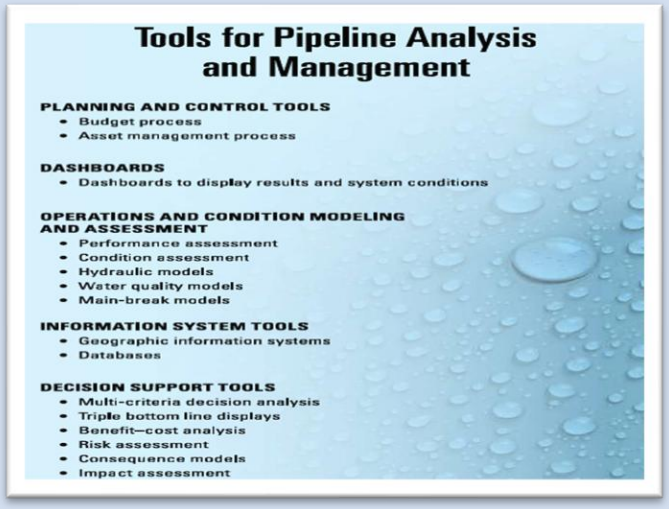
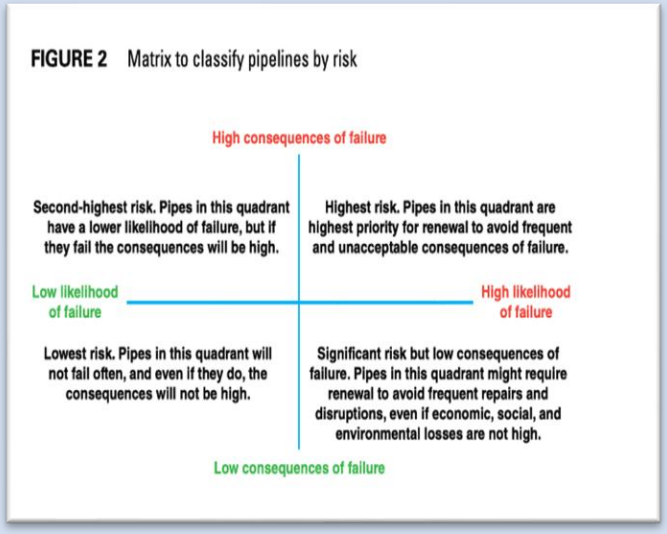
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	• **Orientar**: entrega un ejemplo estructurado de diagnóstico técnico de redes de alcantarillado. • **Avalar**: respalda la relación entre antigüedad de infraestructura y necesidad de renovación. • **Complementar**: aporta antecedentes técnicos para justificar intervenciones en redes urbanas. • **Definir**: clarifica criterios técnicos usados para decidir la renovación de colectores. • **Otros aportes**: referencia práctica de evaluación de vida útil y condición estructural.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	**Cuadro N° 1: Variables independientes y dependientes**

VARIABLES	CONCEPTUALIZACION	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE INDEPENDIENTE	La renovación del sistema de agua potable. La renovación del sistema de alcantarillado.	Renovación del sistema para la población futura de 23 años.	Estación total. Encuestas.
VARIABLE DEPENDIENTE	Mejorar la calidad del sistema de saneamiento en la Urbanización "La Angostura" – Ica.	Calidad y cantidad del agua distribuida.	

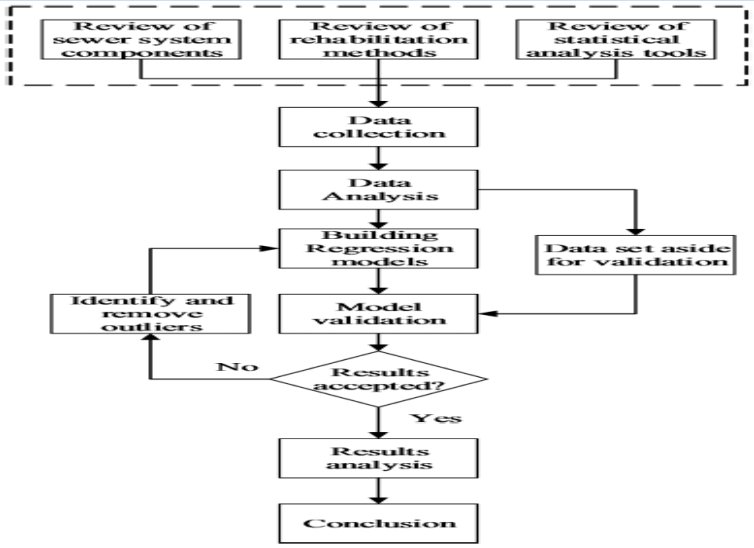
LECTURA 2	TIPO de lectura Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico sobre gestión de activos y priorización de rehabilitación de redes de alcantarillado urbano, publicado en revista indexada (2015+). Documento en PDF.
Palabras claves:	• Gestión de activos • Redes de alcantarillado • Rehabilitación de infraestructura • Renovación de colectores • Planificación de inversiones • Análisis de riesgo • Toma de decisiones.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 3. **Redacciones propias**	1.- “La gestión de activos proporciona un enfoque estructurado para la planificación, operación y renovación de las redes de alcantarillado en el largo plazo, considerando el desempeño, el riesgo y los costos asociados”. 1.- “La priorización de las intervenciones de rehabilitación debe basarse en una combinación del estado físico de los activos, la probabilidad de falla y las consecuencias derivadas de dicha falla”. 1.- “Los enfoques basados en riesgo permiten a las empresas sanitarias asignar recursos limitados de manera más eficiente, transparente y sostenible”. 2.- El artículo desarrolla un enfoque integral de gestión de activos aplicado a redes de alcantarillado urbano**,** destacando la necesidad de estructurar procesos sistemáticos de planificación para la rehabilitación y renovación de infraestructura sanitaria. La investigación propone la utilización de criterios de condición estructural, probabilidad de falla y consecuencias operacionales, sanitarias y ambientales, como base para la priorización de intervenciones, superando enfoques reactivos centrados únicamente en fallas visibles o antigüedad de las tuberías.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: entrega lineamientos claros para estructurar un modelo de gestión de activos en sistemas de alcantarillado. **Avalar**: respalda científicamente la utilización de análisis de riesgo y criticidad para la toma de decisiones. **Complementar**: aporta criterios técnicos y metodológicos para integrar variables hidráulicas, estructurales y económicas. **Definir**: clarifica conceptos clave como riesgo, probabilidad de falla, consecuencia de falla y priorización de activos. **Otros aportes**: justifica el uso de herramientas de análisis multicriterio como soporte a la planificación estratégica–operativa.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 

LECTURA 3	TIPO de lectura Específica
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en el *Journal of the American Water Works Association (JAWWA)*, año 2015. Documento en formato PDF sobre gestión de activos y planificación de infraestructura sanitaria
Palabras claves:	• Gestión de activos • Infraestructura sanitaria • Planificación estratégica • Toma de decisiones • Priorización de inversiones • Ciclo de vida de activos • Sostenibilidad de servicios sanitarios.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 4. **Redacciones propias**	1.- “La gestión de activos permite a las organizaciones de servicios sanitarios tomar decisiones informadas sobre la inversión, operación y mantenimiento de la infraestructura, considerando el desempeño a lo largo del ciclo de vida de los activos” 1.- “Una planificación eficaz de la infraestructura requiere integrar información técnica, financiera y de riesgo, con el fin de maximizar el valor del servicio entregado a los usuarios” 1.- “Los enfoques estructurados de gestión de activos contribuyen a mejorar la resiliencia de los sistemas y a reducir costos en el largo plazo” 2.- El artículo expone la gestión de activos como un marco estratégico fundamental para la administración de infraestructuras sanitarias, enfatizando la necesidad de alinear la planificación técnica con la gestión financiera y los niveles de servicio esperados. Se destaca que la toma de decisiones basada en el ciclo de vida de los activos permite priorizar inversiones de manera más eficiente, reducir riesgos operacionales y asegurar la sostenibilidad de los sistemas de agua y saneamiento en el largo plazo.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: entrega fundamentos conceptuales para estructurar un modelo de gestión estratégico–operativo. **Avalar**: respalda la gestión de activos como herramienta clave para la planificación de infraestructura sanitaria. **Complementar**: integra la visión técnica con variables financieras y de desempeño del servicio. **Definir**: clarifica conceptos como ciclo de vida del activo, niveles de servicio y toma de decisiones informada. **Otros aportes**: aporta argumentos para justificar la sostenibilidad y resiliencia como criterios de planificación.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 

LECTURA 4	TIPO de lectura Fundamental
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en el *Journal of Performance of Constructed Facilities* *Volume 30, Issue 5* https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000866 Documento en formato PDF sobre la predicción del estado de los colectores de alcantarillado y su rehabilitación, mediante tubería curada in situ (CIPP)
Palabras claves:	• Tubería curada in situ (CIPP). • Tecnologías sin zanja. • Rehabilitación. • Regresión. • Deterioro. • Sistemas de alcantarillado. • Predicción del estado.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 5. **Redacciones propias**	1.- “El objetivo principal de esta investigación es presentar los modelos que se desarrollan para modelar el deterioro en las condiciones operativas y estructurales de la rehabilitación de tuberías de alcantarillado con tubería conformada in situ (CIPP, cured-in-place pipe). La tubería conformada in situ (CIPP) se utiliza en el 98% de las obras de rehabilitación de tuberías de alcantarillado en Quebec. 1.- “La primera fase consistió en revisar los componentes del sistema de alcantarillado y la información general sobre la red, así como las técnicas de rehabilitación utilizadas para tuberías de alcantarillado y revisar diversas herramientas de análisis estadístico. La segunda fase fue la recopilación y el análisis de datos. Esta etapa incluyó la recolección de datos de los municipios sobre contratos de instalación y rehabilitación, y sobre informes de inspección. La tercera fase fue la construcción y validación de la herramienta de predicción de la condición mediante el uso de modelos de regresión.” 2.- La investigación desarrolla un sistema de predicción de deterioro de los colectores rehabilitados de la ciudad de Quebec, cuyo resultado es contrastado con el diagnóstico real de estos activos, a través de la inspección televisiva, comparando ambos resultados, lo que es utilizado para validar el sistema de predicción.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Presenta una metodología de gestión de activos de alcantarillado para el sistema de alcantarillado de Quebec. **Avalar**: La metodología presentada es comparada con el estado estructural real de las tuberías diagnosticadas con los modelos de NASSCO de inspección televisiva de colectores. **Complementar**: Este artículo presenta una parte de un proyecto de investigación más amplio que tiene como objetivo ayudar a los municipios de Quebec, Canadá, a evaluar el desempeño de los distintos componentes rehabilitados de los sistemas de alcantarillado. **Definir**: Presenta una predicción del daño esperado en el colector basado en factores como el diámetro, la demanda, el material, cantidad de años de servicio, entre otros. Estos modelos se construyeron y validaron con base en factores físicos, operativos y ambientales identificados que contribuyen al deterioro del alcantarillado. **Otros aportes**: aporta argumentos para evaluar la extensión de la vida útil de la red de alcantarillado rehabilitada con curado in situ, permitiendo evaluar su eficacia en el tiempo.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 1. Methodology flowchart

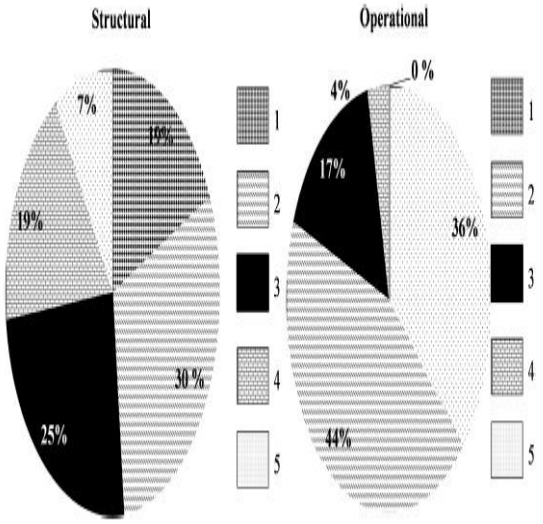


Fig. 12. Quebec City CIPP rehabilitated sewers' structural and operational condition ratings distribution

Table 6. Factors Included in Model for Sewer Pipes

Major factor	Subfactors	Description
Physical factors	**Pipe diameter**	Internal diameter of pipe (mm)
	Pipe material	Concrete, PVC, cement asbestos etc.
	Pipe age	Age of pipe installation (years)
	Pipe length	Length (m)
	Pipe depth	Average depth (m)
	Rehabilitation method	CIPP, sliplining, spot repairs
	Rehabilitation age	Age of pipe rehabilitation (years)
Environmental factors	Soil type	Aggressive, moderate
	Ground water level	High, moderate, low
	Service type	Industrial, commercial, residential
	Average daily traffic	High, moderate, low
	Road type	Local, primary, secondary
	Surface type	Asphalt, seal

Note: In bold are the subfactors that were considered as explanatory variables in the proposed regression models.

Table 7. Average Attributes Effect Value for Qualitative Subfactors

Major factor	Subfactors	Attributes	Attributes effect value
Physical factors	Pipe material	Brick	5
		Vitrified clay	4
		Asbestos cement	3
		Concrete	2
		PVC	1
		Polyethylene	1
Environmental factors	Service type	Industrial	3
		Commercial	2
		Residential	1
		Rural	1
	Average daily traffic	High	3
		Moderate	2
		Low	1
	Road type	Arterial	3
		Freeway	3
		Local	2
		Primary	2
		Secondary	1

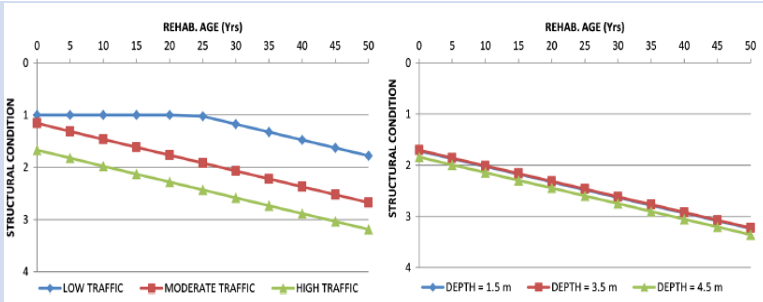


Fig. 16. Deterioration of CIPP structural condition for varying traffic volumes and pipe depths

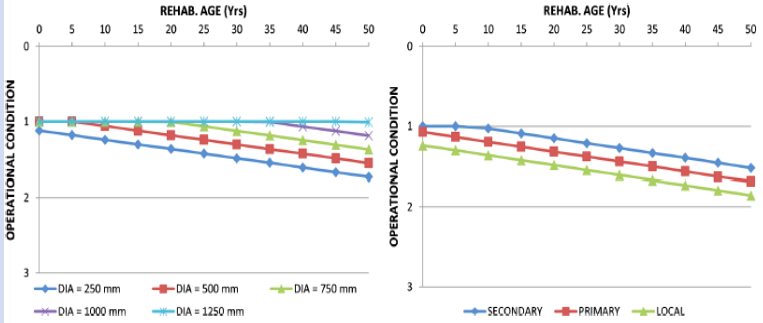
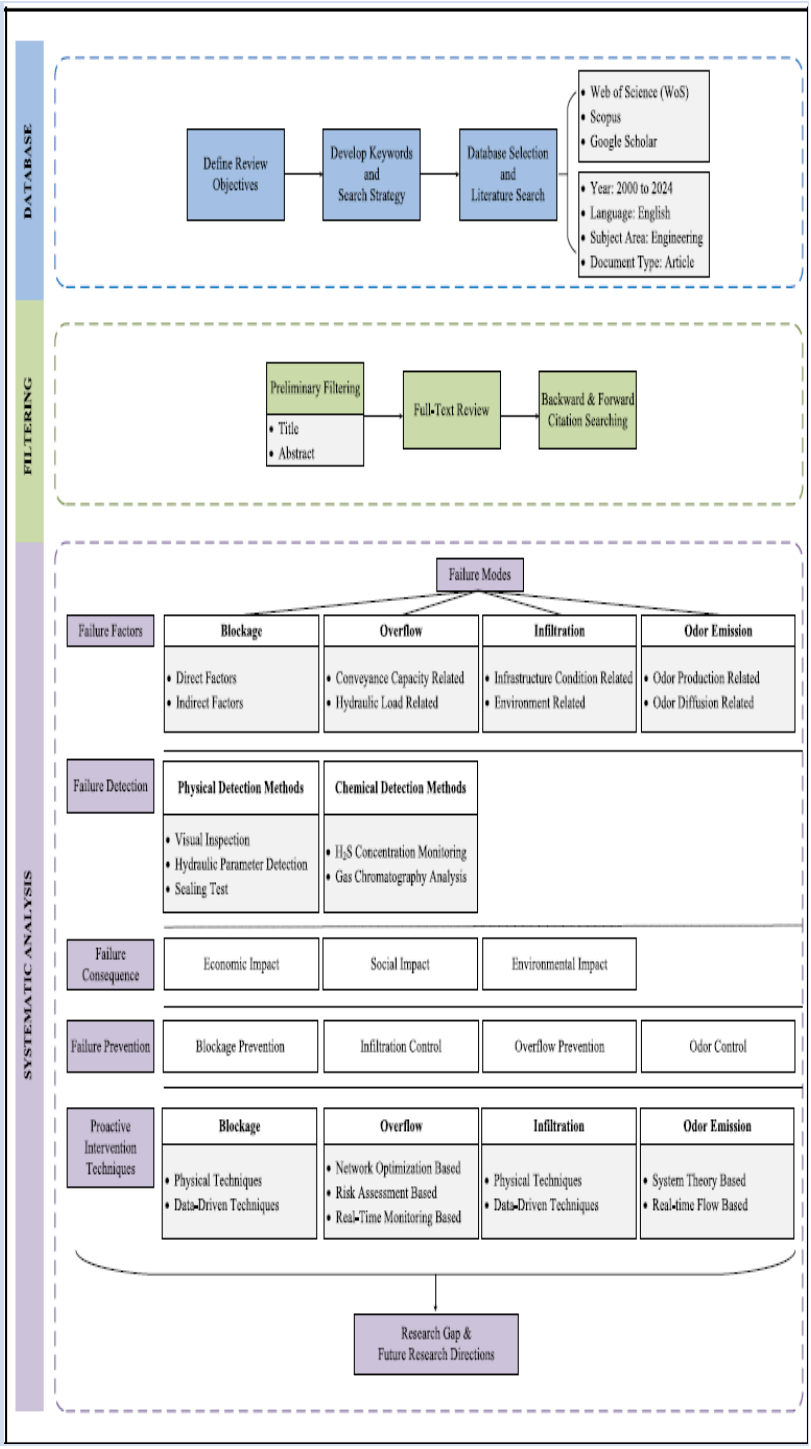


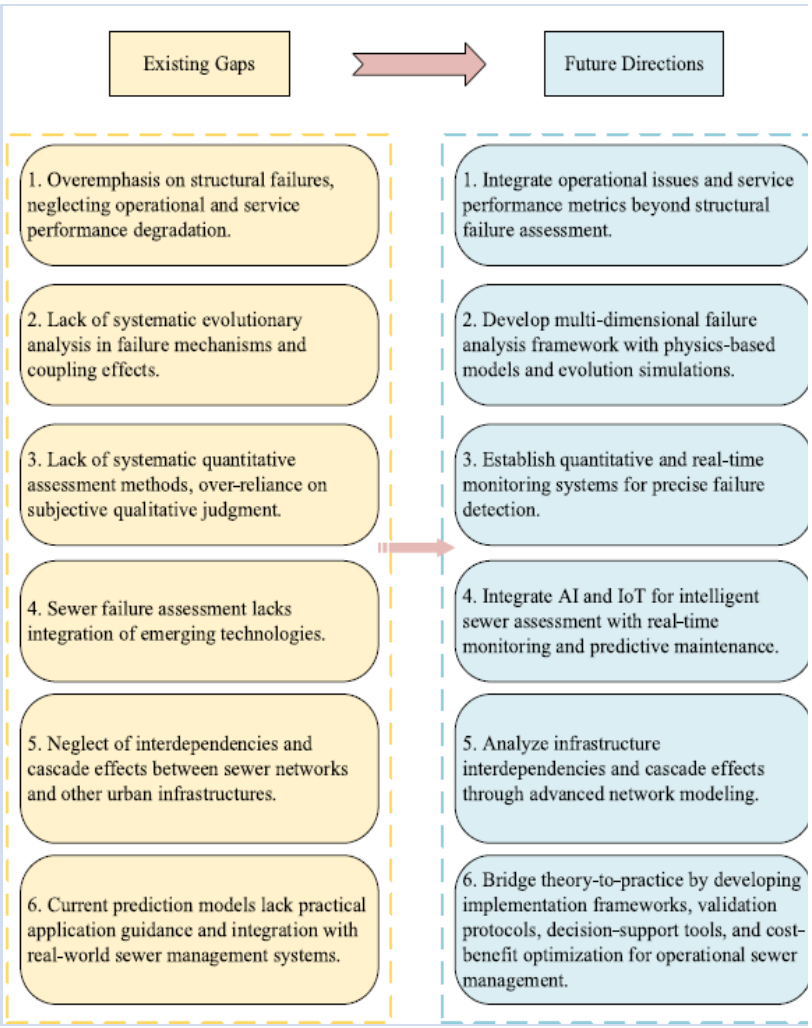
Fig. 17. Deterioration of CIPP operational condition for varying pipe diameters and road types

LECTURA 5	TIPO de lectura Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Reliability Engineering & System Safety", Volume 270, June 2026. "A systematic review of service reliability in urban sewer systems: From failure analysis to preventive management"* El estudio propone un análisis de fallas en el servicio de alcantarillado, proponiendo medidas preventivas específicas para cada tipo de falla.
Palabras claves:	• Alcantarillado • Falla del servicio • Análisis de fallas • Estrategias de prevención • Revisión sistemática
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 6. **Redacciones propias**	1.- "Las interrupciones del servicio no solo afectan el transporte de aguas residuales, sino que también provocan contaminación ambiental y crisis de salud pública, lo que genera pérdidas económicas significativas y un deterioro en la calidad de vida de los residentes.". 1.- "El factor ambiental crítico es la presión del agua subterránea, que proporciona la fuerza impulsora necesaria para empujar el agua a través de las áreas comprometidas de la infraestructura". 1.- "La producción de olores depende principalmente de la composición de las aguas residuales y de la actividad microbiana. Un alto contenido de materia orgánica en las aguas residuales acelera la descomposición anaerobia, lo que conduce a una mayor generación de sulfuro de hidrógeno. Los tiempos prolongados de retención de las aguas residuales permiten una degradación microbiana más completa, lo que incrementa la formación de olores." 1.- "El análisis de los cuatro factores principales de falla del servicio revela procesos distintos que subyacen a las fallas del sistema de alcantarillado. Los bloqueos son causados principalmente por factores directos, como la acumulación de materiales y la deposición de sedimentos. Los desbordes ocurren cuando las cargas hidráulicas superan la capacidad de conducción del sistema. La infiltración resulta de la interacción entre vulnerabilidades estructurales y la presión del agua subterránea, mientras que las emisiones de olores están influenciadas tanto por los procesos de producción como de distribución."

	1.- “El monitoreo continuo de estos parámetros permite la detección temprana de anomalías en el servicio, como bloqueos y desbordes, además de proporcionar datos esenciales para apoyar la operación de la red.” 2.- El artículo desarrolla un enfoque integral de gestión de activos aplicado a redes de alcantarillado urbano**,** destacando la necesidad de estructurar procesos sistemáticos de planificación para la rehabilitación y renovación de infraestructura sanitaria. La investigación propone la utilización de criterios de condición estructural, probabilidad de falla y consecuencias operacionales, sanitarias y ambientales, como base para la priorización de intervenciones, superando enfoques reactivos centrados únicamente en fallas visibles o antigüedad de las tuberías.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: entrega lineamientos claros para estructurar un modelo de gestión de activos en sistemas de alcantarillado. **Avalar**: respalda científicamente la utilización de análisis de riesgo y criticidad para la toma de decisiones. **Complementar**: aporta criterios técnicos y metodológicos para integrar variables hidráulicas, estructurales y económicas. **Definir**: define ecuaciones de cálculo para la estimación de fallas en la red de alcantarillado. **Otros aportes**: establece distintos esquemas de clasificación de factores para cada modo de fallo. En el caso de las obstrucciones, los factores se clasifican en directos e indirectos. En el caso de reboses, los factores se analizan mediante la interacción entre los factores relacionados con la capacidad de porteo y carga. Los factores de infiltración se clasifican en las condiciones de la y factores ambientales. Los factores de emisión de olores se examinan desde la perspectiva de la producción de olores y la difusión de olores.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros




Existing Gaps
Future Directions
1. Overemphasis on structural failures, neglecting operational and service performance degradation.
2. Lack of systematic evolutionary analysis in failure mechanisms and coupling effects.
3. Lack of systematic quantitative assessment methods, over-reliance on subjective qualitative judgment.
4. Sewer failure assessment lacks integration of emerging technologies.
5. Neglect of interdependencies and cascade effects between sewer networks and other urban infrastructures.
6. Current prediction models lack practical application guidance and integration with real-world sewer management systems.
1. Integrate operational issues and service performance metrics beyond structural failure assessment.
2. Develop multi-dimensional failure analysis framework with physics-based models and evolution simulations.
3. Establish quantitative and real-time monitoring systems for precise failure detection.
4. Integrate AI and IoT for intelligent sewer assessment with real-time monitoring and predictive maintenance.
5. Analyze infrastructure interdependencies and cascade effects through advanced network modeling.
6. Bridge theory-to-practice by developing implementation frameworks, validation protocols, decision-support tools, and cost-benefit optimization for operational sewer management.

LECTURA 6	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Automation in Construction", Volume 182, February 2026. "Self-supervised learning for multi-label sewer defect classification"* El estudio presenta un sistema de autoaprendizaje para la clasificación de defectos observados en los colectores.
Palabras claves:	• Aprendizaje semi-supervisado • Visión computacional • Clasificación de defectos en alcantarillado • Gestión de activos • Transferencia de aprendizaje
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Especialmente en la última década, las técnicas de visión por computador han logrado avances significativos en la detección automatizada de defectos en infraestructuras civiles, incluida la inspección de alcantarillado" 1.- "Este artículo utiliza el conjunto de datos público de clasificación multietiqueta *Sewer-ML*, presentado por Haurum y Moeslund [33]. El conjunto de datos comprende 1,3 millones de imágenes de tuberías de alcantarillado con diversos defectos en 17 clases" 2.- Esta publicación, utiliza las redes neuronales para poder optimizar el diagnóstico de fallas en los colectores, a través de imágenes estandarizadas de tipos de fallas que generan un autoaprendizaje del modelo de análisis.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Se utiliza el entrenamiento de la inteligencia artificial con imágenes de defectos de alcantarillado, para alimentar un sistema capaz de auto diagnosticar fallas en las redes. **Avalar**: Se utilizan modelos con distintos conjuntos de datos de imágenes para pre-entrenar el modelo, obteniendo resultados más precisos, aquellos que utilizaron mayor volumen de datos. **Complementar**: Del análisis, también se pudo determinar que un preentrenamiento más prolongado mejoró también, el rendimiento en tareas posteriores. **Definir**: El modelo entrega una propuesta de análisis de imágenes obtenidas por la video inspección, lo que permite reducir tiempos de revisión de videos, del operador.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

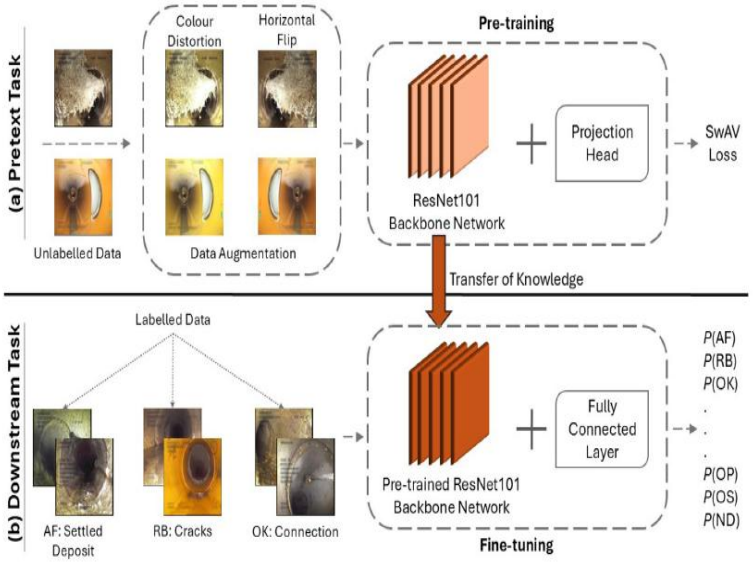


Fig. 1. Illustration of two-part approach. **(a) Stage 1 - Pretext task**: A ResNet101 backbone network is pre-trained with SwAV on a large number of unlabeled images of sewer defects. **(b) Stage 2 - Downstream task**: The learned representations are transferred, and the model is fine-tuned on a limited annotated dataset for supervised multi-label defect classification. The probability of each defect is then calculated, denoted as *P(defect)*.

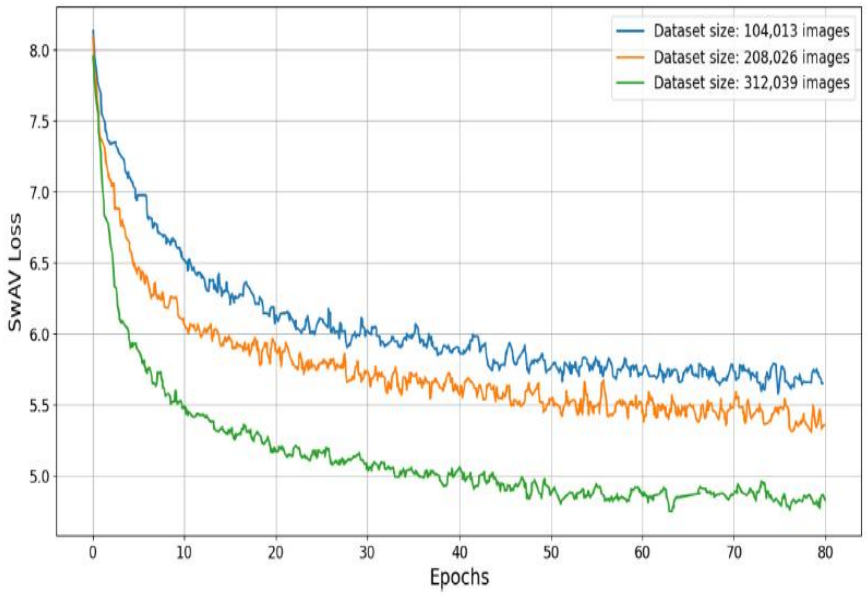


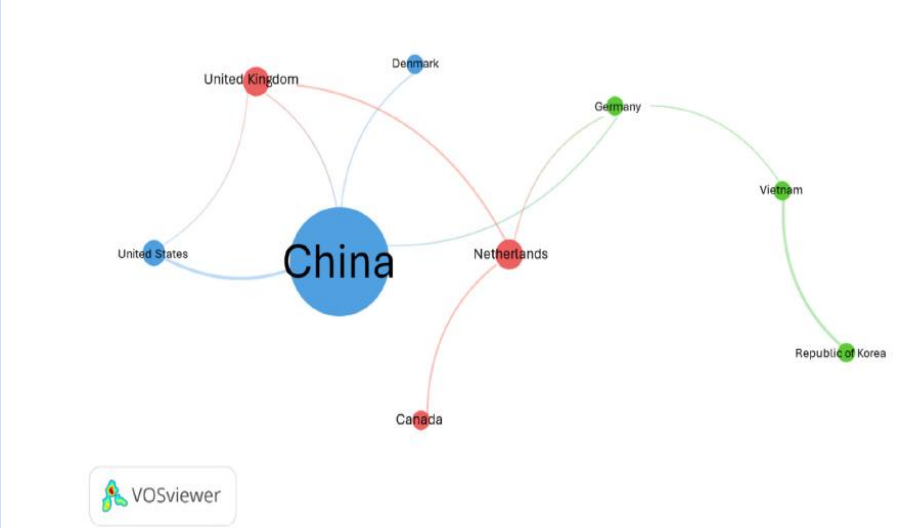
Fig. 3. SwAV pre-training loss curve per epoch, with different amounts of unlabeled images.

Table 5
Comparison of SSL with the supervised learning benchmarks.

Model	Precision	Recall	F1-score	$F2_{CIW}$	$F1_{Normal}$
Sewer-specific					
Xie et al. [31]	46.31	82.52	59.33	48.57	**91.08**
Chen et al. [58]	26.38	47.60	33.94	42.03	3.96
Hassan et al. [30]	7.44	44.86	12.76	13.14	0
Myrans et al. [59]	3.19	17.27	5.39	4.01	26.03
General Architectures [33]					
ResNet-101	40.63	82.62	54.47	53.26	79.55
KSSNet	42.52	82.77	56.18	54.42	80.6
TResNet-M	41.22	83.88	55.27	53.83	81.23
TResNet-L	42.09	83.69	56.01	54.63	81.22
TResNet-XL	41.82	**83.98**	55.83	54.42	81.81
Our Work					
ResNet-101-FS	**65.53**	71.92	68.58	50.84	86.91
ResNet-101-SSL	63.87	76.35	**69.55**	**54.83**	87.99

Note: All metrics represent overall values as percentages.

LECTURA 7	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Underground Space", Volume 25, Diciembre 2025. "A hybrid review of sewer inspection tools and automated CCTV image analysis techniques"*
Palabras claves:	• Tuberías de alcantarillado • Análisis cienciométrico • Detección automatizada de defectos • Tecnologías digitales • Sistemas de drenaje sostenibles
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "El notable auge de la inteligencia artificial (IA) ha impulsado el interés en la investigación sobre el uso de técnicas de visión artificial para la detección y evaluación automatizadas de defectos en el alcantarillado" 1.- "El análisis cienciométrico es un método para elaborar mapas objetivos del campo de investigación mediante la importación de datos bibliométricos de artículos relevantes a un programa." 1.- "El análisis de coocurrencia de palabras clave es una técnica ampliamente utilizada en estudios bibliométricos para identificar tendencias de investigación y puntos críticos dentro de un dominio de investigación particular" 2.- Los colectores de alcantarillado son susceptibles fallas que pueden dividirse estructurales y operativas, las que pueden afectar significativamente su fiabilidad y funcionalidad. Las fallas estructurales se atribuyen a defectos que afectan la integridad del tubo, mientras las fallas operacionales, se deben a fallas que afectan la continuidad del colector, tales como infiltración, acumulación de gases de SO2 que dañan la integridad del tubo y obstrucciones por acumulación de sedimentos. 2.- La investigación presenta distintas tecnologías de inspección televisiva de colectores, las cuales se pueden clasificar en inspección basada en cámara, inspección basada en robótica (la cual puede incorporar herramientas de reparación de colectores) y otras tecnologías como la inspección con láser, pruebas de inundación, pulso electromagnético y la inspección ultrasónica. 2.- La publicación desarrolla distintos tipos de clasificación de imágenes de inspección televisiva de colectores, utilizando redes neuronales convolucionales (CNN) y el modelo de máquina de vectores de soporte (SVM), los que son utilizado para automatizar el análisis de imágenes y diagnosticar defectos en las redes de alcantarillado.

	2.- La publicación identifica además modelos de gestión de activos de alcantarillado, estos modelos presentados, tienen 3 enfoques principales, la evaluación del estado actual de las tuberías, la predicción del estado de las tuberías y la predicción del deterioro de las tuberías de alcantarillado.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Se utiliza para determinar el estado de las tuberías de alcantarillado, utilizando modelos automatizados de inspección televisiva de colectores, cuyos resultados son usados para desarrollar un modelo de gestión de activos. **Avalar**: Se desarrolla analizando distintos documentos identificados con inteligencia artificial enfocados en palabras claves previamente seleccionadas. **Complementar**: la detección de defectos de alcantarillado ha crecido significativamente en los últimos años, donde China es el país que lidera la publicación de estudios y avances en esta materia. **Definir**: El modelo entrega una propuesta de gestión de redes de alcantarillado basado en modelos de inspección televisiva, complementados con inteligencia artificial para el análisis de datos y toma de decisiones.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 5. Co-authorship network of countries in the research.

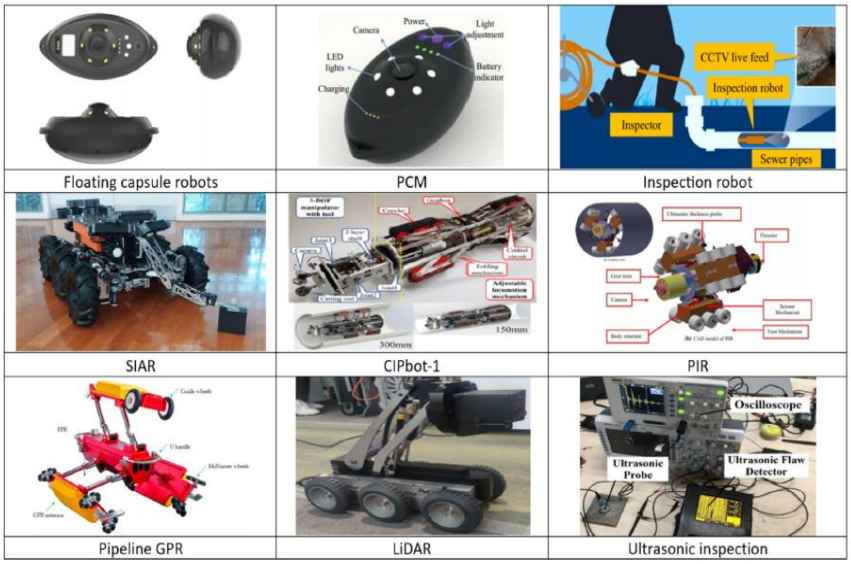


Fig. 10. Images of various sewer inspection tools. (Alejo et al., 2021; reproduced with permission, courtesy of John Wiley & Sons) (Tugeumwolachot et 2021; reproduced with permission, courtesy of Springer Japan KK) (Jain et al., 2021; reproduced with permission, courtesy of Springer India) (Pan et 2021; reproduced with permission, courtesy of WSPC) (Fang et al., 2022; Guo et al., 2022; Dang et al., 2023; reproduced with permission, courtesy Elsevier).

Table 9
Review of some of the research studies on multiple models to automate the detection and evaluation of sewer defects.

Year	First purpose		Second purpose		Ref.
	Purpose	Data processing technique	Purpose	Data processing technique	
2019	Feature extraction	Hu invariant moments, texture features, lateral Fourier transform, and Daubechies (DBn) wavelet transform	Defects classification	SVM	(Ye et al., 201
2021	Object detection	Faster R-CNN	Defects segmentation	CNN + CRF	(Wang et al., 2021b)
2021	Image generation	StyleGAN-SDM	Defects classification	MDCM based on fusion CNN	(Ma et al., 20
2022	Object detection	Improved Mask R-CNN	Data augmentation	Practical data augmentation method	(Fang et al., 2022)
2024	Defects segmentation	DeepLabv3+	Defect evaluation	Geometric characterization and severity quantification module	(Q. Zhou et a 2024)

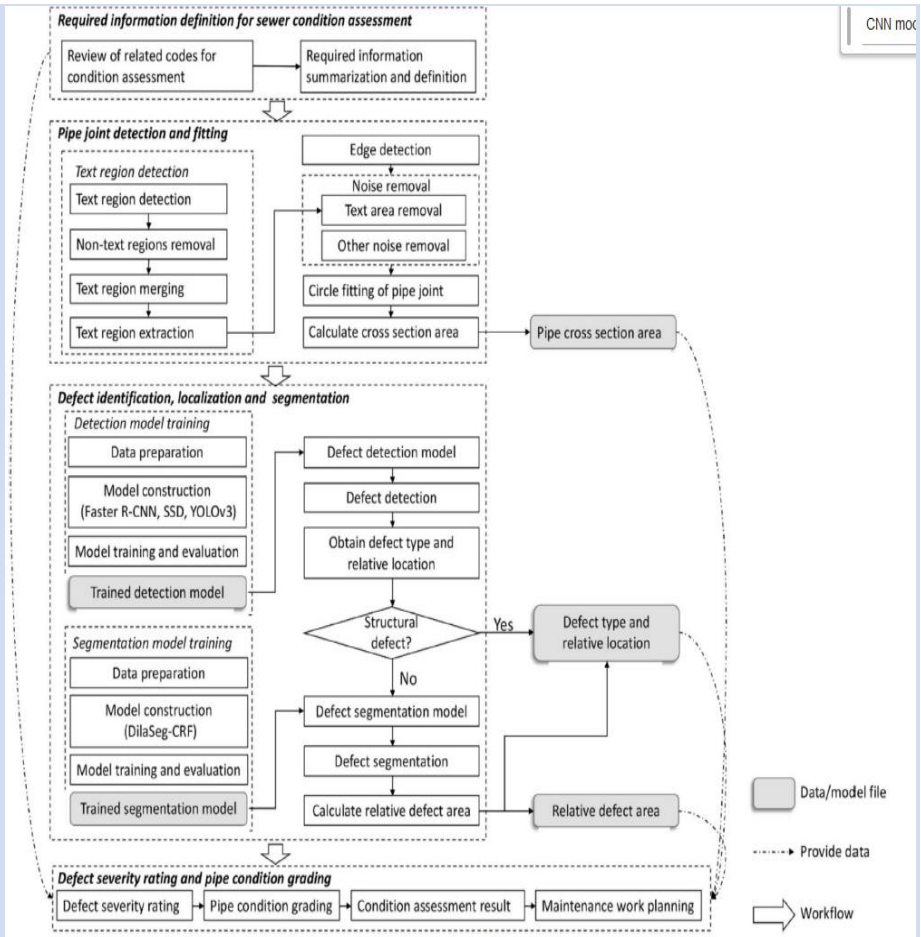


Fig. 14. Framework for automated condition assessment of sewer pipe systems (Wang et al., 2021b; reproduced with permission, courtesy of Elsevier).

LECTURA 8	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Results in Engineering", Volume 26, June 2025. "A review of climate change impact assessment and methodologies for urban sewer networks"*
Palabras claves:	• Redes de alcantarillado • Adaptación al cambio climático • Evaluación de vulnerabilidades • Gestión de activos
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "utilizó cuatro modelos climáticos globales en tres escenarios climáticos para pronosticar la temperatura y la precipitación en la llanura de Tasuj, Irán (2022-2050). Los hallazgos indicaron un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones, lo que provocó una disminución de las aguas subterráneas en las zonas semiáridas, un resultado consistente en todos los modelos." 1.- "Este marco ayuda a los gestores de activos a priorizar los esfuerzos de mantenimiento e intervención. Se utilizó el método PACP (Programa de Evaluación y Certificación de Tuberías) para evaluar el estado de las tuberías, con el índice de calificación estructural para estimar el deterioro. La puntuación de riesgo incorpora tanto la probabilidad de falla como las consecuencias" 1.- "La evaluación de vulnerabilidad y riesgo analiza los posibles riesgos sociales, ambientales y financieros derivados de estos impactos, considerando los efectos combinados de diversos peligros y factores, como los costos de mantenimiento o mejora de la infraestructura." 2.- La publicación utiliza modelos de cambio climático para actualizar las variables hidrológicas, niveles de marea, niveles freáticos y cambios en temperatura y vientos. Los resultados obtenidos son utilizados para alimentar los modelos de flujo de porteo de los colectores.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Se utilizan modelos de predicción climática para prevenir futuras falencias en las redes de alcantarillado. **Complementar**: Se comparan resultados de distintos modelos climáticos, modelos de flujo y de análisis de riesgos, determinando, fortalezas, debilidades y limitaciones. **Definir**: Se presenta un marco conceptual para ilustrar estas relaciones, ayudando a los investigadores a identificar deficiencias y mejorar la colaboración interdisciplinaria **Otros aportes**: El marco también respalda la integración de peligros compuestos, como los deslizamientos de tierra, para optimizar la evaluación de riesgos. Asimismo, se proporciona una tabla metodológica tipológica para ayudar a aplicar el marco de manera efectiva.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Table 4 Key Methodologies, Data Requirement, Strengths, Limits & Application.

	Methodology	Data Requirements	Strengths	Limitations	Typical Applications	References
Climate Modelling	Spatial Downscaling & Temporal Disaggregation	Climate data from GCM	Provides high-resolution local climate data	Complex requires high-quality input data	Site-specific climate impact analysis	Ghazi et al., [68]; Gogien et al. [25]
	Generalized Linear Models (GLM)	Historical data, meteorological and hydrological data	Flexible, captures nonlinear relationships	Data-intensive, sensitivity to parameter choices	Simulate future rainfall accounting for climate change uncertainties	Abdellatif et al., [62]
	Artificial Neural Network (ANN)	Time-series data, climate and operational data	Can model complex patterns and interactions	Overfitting risk, requires large datasets	Predictive modelling of sewer system performance	Abdellatif et al., [62]; Abdellatif et al., [63]; Ghazi et al. [68]
	Least Square Support Vector Machine (LSSVM)	Climate, rainfall, and flow data	High predictive accuracy, robust to noise	Computationally expensive, sensitive to parameter selection	Applied in regression and classification problems, noisy or high-dimensional data	Ghazi et al. [68]
	Nonlinear Autoregressive Network	Time-series, meteorological, and flow data	Captures nonlinear dynamics and time-varying behavior	Requires large datasets for training, complex setup	Forecasting in temporal dynamic systems	Ghazi et al. [68]
	Nonparametric Statistic Test	Climate and flow data	Useful for analysis without assumptions about data distribution	May not capture extreme events, depends on data quality	Managing stochastic uncertainties in climate data	Rak et al. [44]
	Shared Socio-economic Pathways (SSPs)	Scenario-based socioeconomic and climate data	Integrates socio-economic and environmental variables	Dependent on assumptions about future development and policies	Long-term planning and scenario analysis	Wang et al. [73]
Flow Modelling	Hydrological Modelling	Rainfall, runoff, topographic, and land-use data	Models water flow across catchments	Calibration issues, computationally demanding	Watershed and drainage system impact analysis	Fung and Babcock [67]; Gogien et al., [25]; Szelag et al. [69]
	Network Simulation	Rainfall, land-use, runoff, and system data	Well-established, provides comprehensive flow simulation	Requires calibration issues, computationally demanding	Urban drainage system design and climate impact assessment	Liu et al., [66]; Szelag et al. [69]
	Long-Term Continuous Hydraulic Modelling	Continuous flow, pressure, and operational data	Provides a dynamic, long-term view of sewer system performance	High computational cost, requires continuous data	Infrastructure resilience modelling over time	Gogien et al., [25]; Kleidorfer et al. [64];
	Modelling Groundwater Level Fluctuations	Groundwater level and rainfall data	Captures groundwater changes due to climate variation	Requires detailed local data, slow to simulate	Groundwater management under climate stress	Ghazi et al., [68]; Rahmoun et al. [71]
	Uncertainty Analysis (SSOAP Toolbox)	Climate and system operational data	Quantifies uncertainty in modelling assumptions	Complex to implement, data-heavy	Decision-making under uncertainty	Fung and Babcock [67]; Rahmoun et al. [71]
	Monte Carlo	Probability distributions, system and climate data	Can model uncertainty in inputs and provide a range of possible outcomes	Requires large datasets, computationally intensive	Risk analysis, forecasting, uncertainty modelling	Fu & Kapelan [61]
	Copula-Based Analysis	Climate, system, and risk data	Useful for capturing complex dependencies between variables	Requires large datasets, sensitive to model assumptions	Extreme event modelling, risk analysis	Kapelan (2013); Hamidi et al. [65]
	Fuzzy Set & Systems	Data with uncertainty, climate, and system	Deals with uncertain or vague data	Requires expertise in fuzzy logic, can be	Epistemic uncertainty assessment	Fu and Kapelan [61]

Vulnerability and Risk Assessment	GIS and Multi-Criteria Analysis	Spatial data, climate, infrastructure, and vulnerability data	Effective for spatial decision-making	Requires large datasets, complex analysis	Infrastructure planning, risk assessment	Abebe et al., [31]; Rak et al. [44]
	Risk-Based Framework	Climate, operational, and risk data	Provides systematic risk evaluation	May oversimplify risk factors	Climate adaptation strategies for infrastructure resilience	Fung and Babcock [67]; Liu et al. [66]
	Dynamic Adaptation Managed Retreat	Climate data, socio-economic, land-use, and infrastructure data	Helps plan for managed retreat and adaptation	Requires significant planning and stakeholder involvement	Long-term coastal and floodplain management	Abebe et al. [31]
	Vulnerability Assessment Framework	Vulnerability, infrastructure, and environmental data	Focuses on assessing vulnerability, identifying weaknesses	Subjective, may overlook emerging risks	Vulnerability analysis for climate adaptation	Friedrich and Kretzinger [45]; Noi and Nitivattananon [41]
	Dynamic Bayesian Network	Climate, operational, and risk data	Allows integration of expert opinion	High resource and facility costs limit broader application	Detailed risk assessments at community level	Noi and Nitivattananon [41]
	Impact Matrix	Expert opinions and secondary data	Simple to use, helps prioritise impacts	May oversimplify complex interactions	Initial impact assessments	Noi and Nitivattananon [41]
	Problem Tree Analysis	Qualitative data from observations and interviews	Identifies and visualises relationships between problems	Limited scope for large areas due to data collection challenges	Community-level assessments	Aubin (2018)

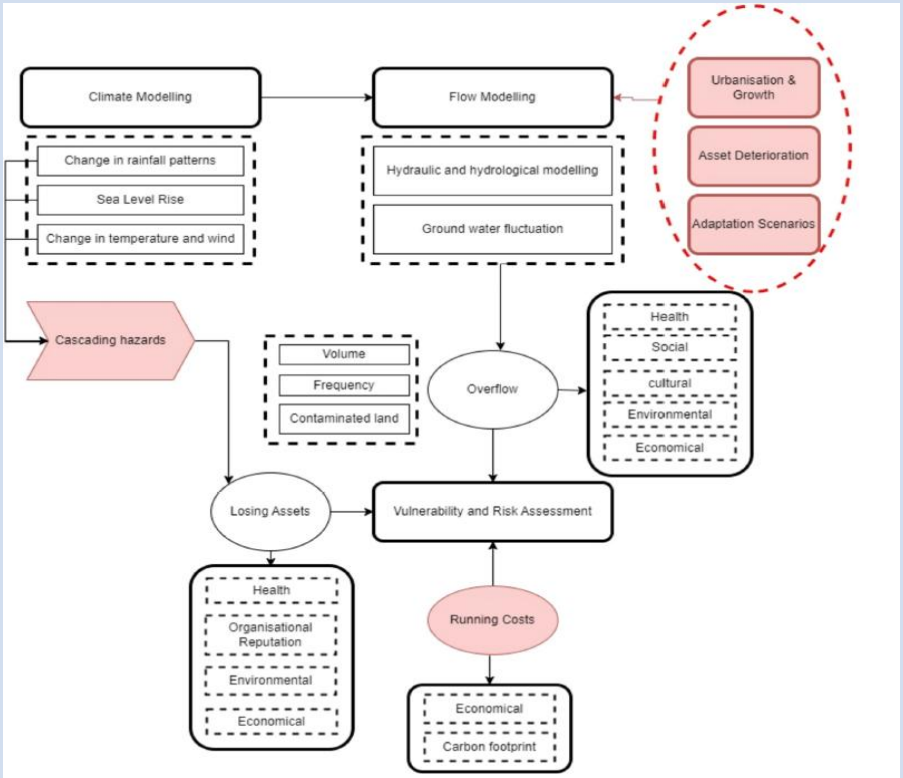
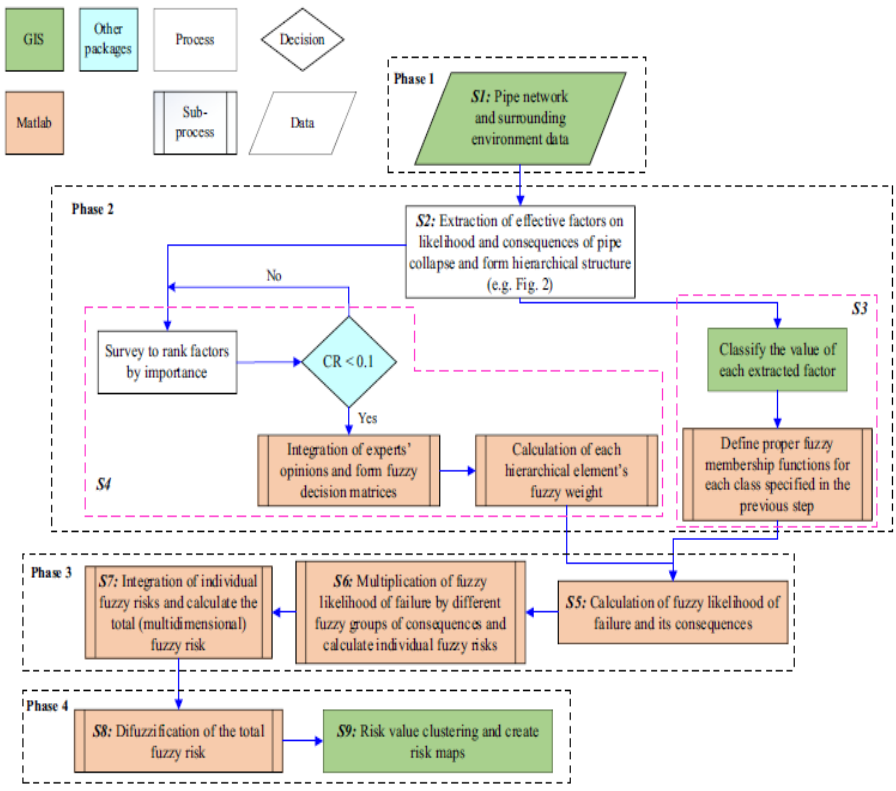


Fig. 7. Climate change and sewer network vulnerability assessment integration framework.

LECTURA 9	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*International Journal of Civil Engineering", Volume 22, octubre 2024. "A Fuzzy Multidimensional Risk Assessment Method for Sewer Asset Management"*
Palabras claves:	• Gestión de activos • AHP difuso • Evaluación de riesgos • Tubería de alcantarillado • Incertidumbre
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "El método consta de cuatro fases clave: (1) recopilación de datos, (2) identificación de factores que influyen en los componentes del riesgo y estimación de su importancia relativa, (3) cálculo del riesgo a nivel de tubería con base en las funciones de pertenencia difusa predefinidos, y (4) agrupación de tuberías de alcantarillado según sus valores desdifuminados y creación de mapas de riesgo." 1.- "Sin embargo, analizar la criticidad de las tuberías bajo riesgos individuales puede proporcionarles una perspectiva más clara. Por lo tanto, es necesario comprender la criticidad de los estados de las tuberías para cada riesgo antes de calcular el riesgo combinado" 1.- "Ofrece una forma más pragmática de priorizar los activos de alcantarillado para las actividades de mantenimiento, especialmente para las empresas que cuentan con una cantidad limitada de datos disponibles, insuficiente para construir modelos de deterioro, identificar los principales factores explicativos, etc. Como posible solución para evaluar la probabilidad de falla, el método presentado utiliza información comúnmente disponible para los municipios (por ejemplo, antigüedad, longitud de la tubería, profundidad de enterramiento, etc.)." 2.- El método difuso de análisis de datos, basado en la lógica difusa, permite clasificar información con límites ambiguos o imprecisos, asignando grados de pertenencia (entre 0 y 1) en lugar de una clasificación binaria estricta. Es ideal para manejar incertidumbre, ruido en datos y agrupamiento (clustering) suave.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Utiliza métodos de difusión difusa aplicando modelos de clúster para el análisis de criticidad de colectores, permitiendo priorizar su inspección y/o rehabilitación. **Avalar**: Para la aplicación de este modelo se preparó y distribuyó entre profesores universitarios, consultores y contratistas que trabajan en la industria de tratamiento de aguas residuales en Teherán, quienes realizaron comparaciones por pares para determinar la importancia relativa (ponderación) de diferentes factores según su experiencia. **Definir**: El método propuesto espera ayudar en la toma de decisiones a identificar segmentos críticos de alcantarillado y priorizarlos para actividades de inspección/rehabilitación, considerando las incertidumbres en el proceso de evaluación de riesgos, especialmente cuando existe falta de datos para construir un modelo de deterioro, identificar los principales factores explicativos, etc. **Otros aportes**: Este método se puede extrapolar al desarrollo de la investigación de las redes de Arica, cambiando la criticidad de los parámetros según lo que pueda ser indicado por los administradores y contratistas locales.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 **Fig. 1** Flowchart of the proposed risk-based prioritization method and implemented tools. *CR* is the consistency ratio of the pairwise compariso matrix and *S* is the short form of *Step*

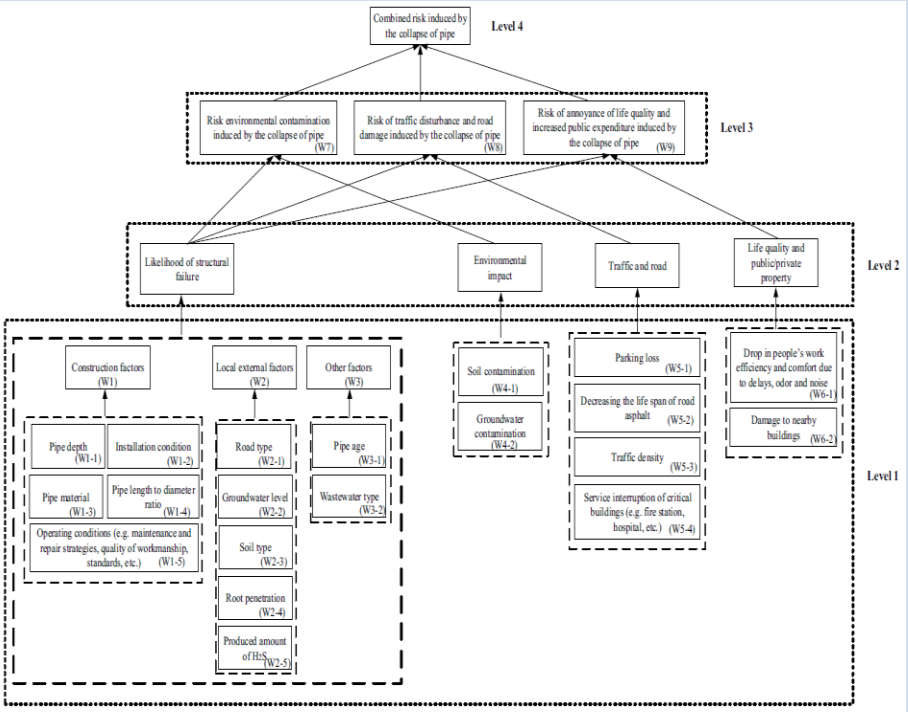


Fig. 2 The proposed hierarchical structure in the fuzzy risk assessment of sewer pipe's collapse (*W*s refer to the relative importance of elements in each category)

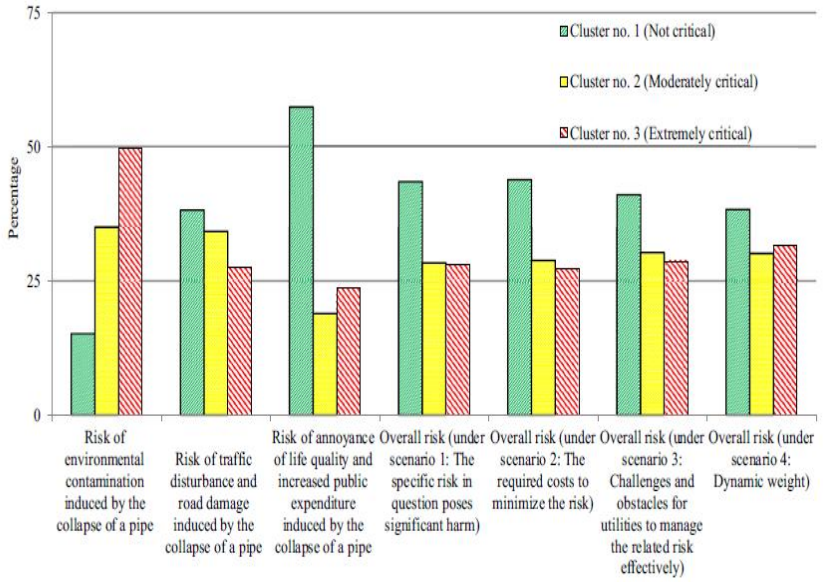


Fig. 8 Distribution of pipes' length in each cluster for individual and integrated risk of sewer pipe collapse

LECTURA 10	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Buildings", Volumen 13, noviembre 2023. "Estimating the Renovation Cost of Water, Sewage, and Gas Pipeline Networks: Multiple Regression Analysis to the Appraisal of a Reliable Cost Estimator for Urban Regeneration Works"*
Palabras claves:	• Evaluación de proyectos • Estimación de costos de renovación • Modelado de regresión • Redes de infraestructura subterránea • MRA
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "El análisis de regresión es una de las técnicas de modelado más utilizadas en la industria de la construcción para desarrollar modelos de estimación de costos rápidos y suficientemente fiables. Incluso en el caso de las redes de infraestructura subterránea, esta técnica se utiliza con frecuencia para estimar los costos de las obras de renovación." 1.- "funciones de costos de las redes de alcantarillado, suministro de agua y gas se suponen que dependen de cinco variables. En primer lugar, la extensión de la red construida (L), la dificultad de realizar las obras (E) y el ancho promedio del tramo vial (W). Estas variables ya se han presentado anteriormente. Luego, por el diámetro promedio ponderado de la tubería utilizada en la intervención (D)." 2.- La metodología propuesta se puede dividir en 8 etapas: 1. Recopilación de proyectos para la renovación de infraestructuras de servicios 2. Análisis de los documentos técnico-contables del proyecto y organización de datos. 3. Selección de variables explicativas basada en los datos disponibles y la relevancia teórica reportada en la literatura. 4. Selección de proyectos en los que las variables explicativas previamente identificadas están presentes y son medibles. 5. Clasificación de variables para cada proyecto por categorías de trabajo. 6. Implementación del análisis de regresión múltiple. 7. Selección de variables significativas y modelo funcional óptimo para cada categoría de trabajo. 8. Construcción de la función de costo total.

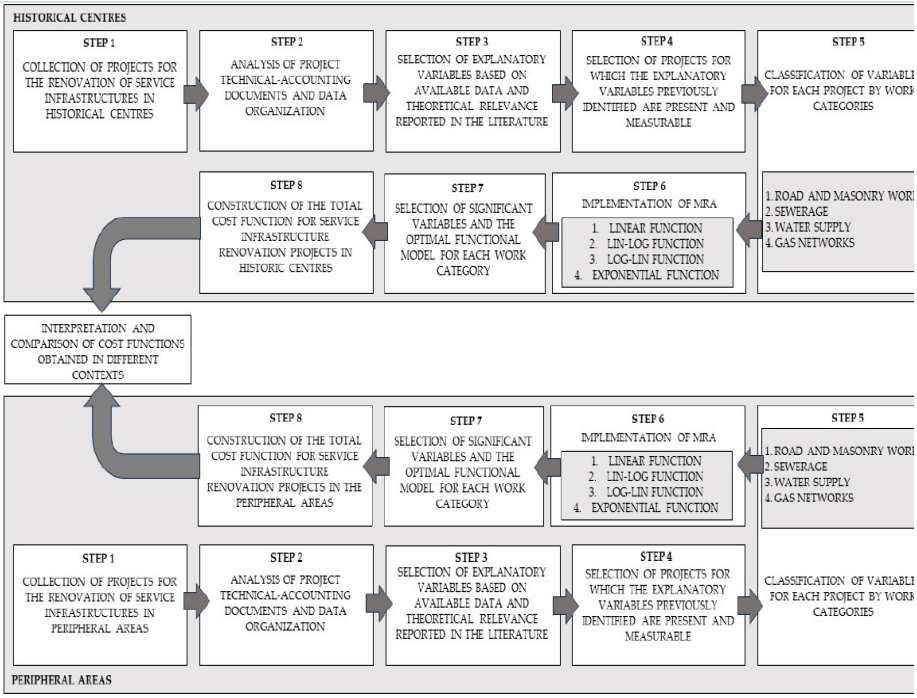
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Utiliza métodos de regresión lineal para estimar los costos de renovación de redes de agua potable, alcantarillado y gas, considerando pruebas estadísticas para obras viales y pavimentos en áreas periféricas de la ciudad. **Avalar**: Para esto se realizan análisis de regresión para intervención en redes de agua potable, alcantarillado y gas, a partir, de datos extrapolados de proyectos ejecutados. **Complementar**: Se demuestra que es correcto diferenciar la forma funcional según el contexto urbano. para los centros históricos, se adoptan funciones exponenciales multiplicativas, mientras que para las áreas periféricas, la estimación de costos es más fiable si se consideran funciones lineales. **Definir**: construir un modelo para la estimación rápida de costos en la fase programática, en el caso de intervenciones que implican una serie compleja de obras en diversos tipos de infraestructura (carreteras y mampostería, alcantarillado, suministro de agua, redes de gas), utilizando el Análisis de Riesgos Mutuos (ARM) para estimar los costos. **Otros aportes**: La estimación de los costos de renovación de redes, proporciona información valiosa para orientar las decisiones de inversión y promover un entorno de vida sostenible y de calidad.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Figure 1. Flow chart of the logical steps followed in the research work.

Table 4. Pipeline materials and correction coefficients were used to estimate the D_j parameter for the 19 projects located in historical centres.

Cases	Sewerage		Water Supply		Gas Network	
	Pipeline Materials	Coefficients	Pipeline Materials	Coefficients	Pipeline Materials	Coefficients
1	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
2	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
3	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
4	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
5	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
6	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
7	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
8	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
9	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
10	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
11	Rigid PVC	1	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
12	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
13	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
14	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes and polyethylene	1.3 and 1	Ductile iron pipes	1.3
15	Rigid PVC	1	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
16	Rigid PVC	1	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
17	Rigid PVC	1	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
18	Rigid PVC	1	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
19	Rigid PVC	1	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25

Table 5. Pipeline materials and correction coefficients were used to estimate the D_j parameter fo 20 projects located in peripheral areas.

Cases	Sewerage		Water Supply		Gas Network	
	Pipeline Materials	Coefficients	Pipeline Materials	Coefficients	Pipeline Materials	Coefficie
1	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
2	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
3	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
4	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
5	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
6	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
7	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
8	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
9	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Ductile iron pipes	1.3
10	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
11	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Ductile iron pipes	1.3
12	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
13	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
14	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
15	Synthetic resin in reinforced concrete tunnel	1.6	Ductile iron pipes inserted in a reinforced concrete tunnel	1.8	Polyethylene	1
16	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25
17	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
18	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
19	Turbovibrocompressed concrete	1.2	Ductile iron pipes	1.3	Steel pipes	1.25
20	Rigid PVC	1	Polyethylene	1	Steel pipes	1.25

Table 8. Sewerage in historical centres: results of statistical tests and values of regression coeffici

Regression Statistics	Linear	Lin-Log	Log-Lin	Exponential	Adjusted Exponen
Multiple R	0.982	0.893	0.931	0.995	0.993
R^2	0.964	0.797	0.867	0.990	0.987
Adjusted R^2	0.951	0.719	0.816	0.986	0.984
Standard error	0.112	0.268	0.741	0.201	0.216
Significance F	Linear	Lin-Log	Log-Lin	Exponential	Adjusted exponent
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coefficients	Linear	Lin-Log	Log-Lin	Exponential	Modified exponent
Intercepts	−0.0602	1.476	−6.374	−11.559	−10.687
L	0.0001	0.327	0.000	0.908	0.930
D	0.0001	−0.272	0.005	0.780	0.753
W	−0.0030	−0.271	0.102	0.040	Deleted
D	−0.0373	−0.247	0.329	0.210	Deleted
P	11.7543	0.252	6.577	0.368	0.510

Standard error	Linear	Lin-Log	Log-Lin	Exponential	Adjusted exponential
Intercepts	0.087	1.297	0.573	0.974	0.922
L	0.000	0.065	0.000	0.048	0.049
D	0.000	0.169	0.002	0.127	0.134
W	0.008	0.132	0.052	0.099	Deleted
D	0.024	0.135	0.156	0.102	Deleted
P	4.248	0.138	28.130	0.103	0.078
Significance of t	**Linear**	**Lin-Log**	**Log-Lin**	**Exponential**	**Adjusted exponential**
Intercepts	0.499	0.276	0.000	0.000	0.000
L	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
D	0.572	0.132	0.015	0.000	0.000
W	0.707	0.061	0.070	0.695	Deleted
D	0.137	0.091	0.054	0.059	Deleted
P	0.016	0.090	0.819	0.004	0.000

LECTURA 11	**TIPO de lectura: Complementario**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Journal of Cleaner Production", Volumen 413, agosto 2023. "Evaluating the sensory and health impacts of exposure to sewer overflows on urban population"*
Palabras claves:	• Desbordamiento de alcantarillado sanitario • Emisión de olores • E. coli • Evaluación de impacto • Modelo de dispersión gaussiana • QMRA
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "La dispersión de compuestos olorosos como el H_2S puede afectar la calidad del entorno, causar molestias a los residentes, ser absorbido por las plantas y propiedades, dejándolas inservibles, y generar reticencia en las personas a utilizarlas" 1.- "El contacto con los desbordamientos de aguas residuales puede tener consecuencias más graves, ya que las aguas residuales sin tratar contienen concentraciones más elevadas de patógenos en comparación con las inundaciones o las playas recreativas." 2.- El estudio se centra en la planta de tratamiento de aguas servidas de Hong-Kong en la cual se tomaron parámetros durante 3 años (2018 – 2020), parámetros como el ácido sulfhídrico (H2S), demanda bioquímica de oxígeno (SBO5), la demanda química de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales y el nitrógeno amoniacal (NH3–N). 2.- Para el análisis se utiliza: • Modelo de dispersión Gaussiano: para simular cómo se dispersan los gases olorosos en el aire.

	• Modelo de transferencia de masa: para calcular la emisión de sulfuro de hidrógeno (H_2S) desde el agua residual. • QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment): para estimar riesgo de infección por E.coli. • Encuestas a residentes: para validar si el nivel de molestia estimado coincide con la percepción real.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: El artículo orienta la investigación hacia la evaluación de los impactos de los desbordes de alcantarillado (SSO) en la población urbana, considerando molestias por malos olores (H2S) y el riesgo sanitario por exposición a patógenos como *E. coli*. **Complementar**: En general se complementan estudios previos, los cuales analizaban contaminación o monitoreo de desbordes, pero no evaluaban cuantitativamente el olor ni el riesgo sanitario simultáneamente. **Definir**: de la publicación se pueden definir 2 conceptos claves; el ácido sulfhídrico (H2S), es el principal componente que genera los malos olores, y el E. Coli, como indicador clave del riesgo sanitario, el cual puede entrar en contacto con la población durante afloramientos de aguas servidas.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Table 2 Relationship between odor chemical concentration and odor intensity, adopte from Han et al. (2020). Scale (Degree of Intensity) / Status / H_2S concentration (ppb) / NH_3 concentration (ppm) 0 / None / <0. 5 / <0.15 1 / Threshold / 0. 5 / 0.15 1.5 /	/ 1.7 / 0.30 2 / Moderate / 5.6 / 0.59 2.5 /	/ 19 / 0.85 3 / Strong / 63 / 2.35 3.5 /	/ 210 / 4.68 4 / Very strong / 720 / 9.33 4.5 /	/ 2390 / 18.62 5 / Excessively strong / 8100 / 37.1

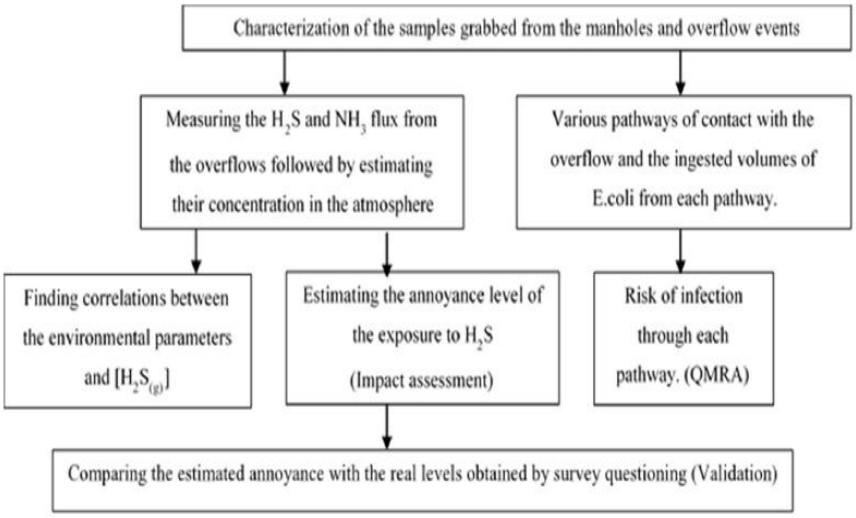


Fig. 1. The general scheme of this work.

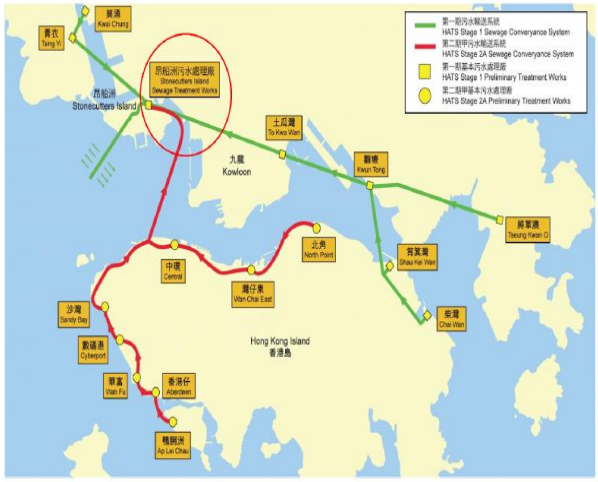
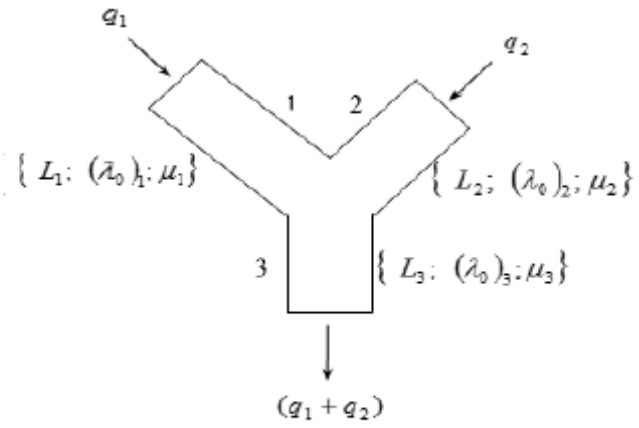
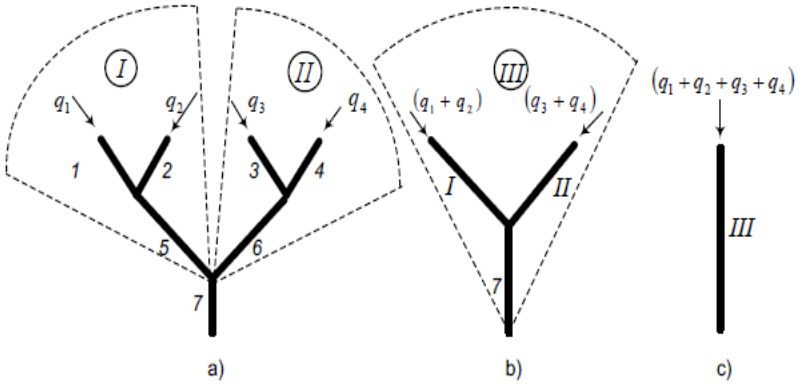


Fig. 2. Overview of the Harbor Area Treatment scheme in Hong Kong (Reference: https://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/water/hkwqrc/sewerage/hats.html). The samples were taken from the manhoels near "Stonecutters Island Sewage Treatment Works" depicted inside the red circle. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

LECTURA 12	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Reliability: Theory and Applications", Volumen 16, diciembre 2021. "RELIABILITY OF A BIG CITY SEWER NETWORK"*
Palabras claves:	• Red de alcantarillado • Fiabilidad • Descarga de aguas residuales • Fragmento de red en forma de Y • Método de descomposición-equivalencia.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Las tuberías subterráneas, como componentes de la red de alcantarillado, están sujetas a tantas influencias que resulta difícil, si no imposible, predecir su efecto combinado con antelación. Estas influencias incluyen la corrosión del suelo y las aguas residuales, los movimientos del terreno, las condiciones climáticas, etc. La mayoría de estos factores son aleatorios y se caracterizan por una variabilidad significativa." 1.- "En la práctica, una alteración en el funcionamiento normal del alcantarillado puede manifestarse como una reducción de su capacidad, causada por grietas en la tubería, roturas bajo cargas mecánicas extremas, aumento de la infiltración, desbordamientos repetidos, etc. Aquí, definiremos "falla" como un evento que implica la necesidad de una revisión o sustitución inmediata de la tubería" 2.- La publicación propone un método de descomposición-equivalente, el cual consiste en dividir la red en fragmentos tipo Y, el cual es reemplazado por una tubería equivalente, calculando su parámetro de confiabilidad, y así sucesivamente hasta tener un parámetro de confiabilidad del sistema completo.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: El artículo aborda la necesidad de desarrollar métodos cuantitativos para evaluar la confiabilidad de las redes de alcantarillado. **Avalar**: respalda la necesidad de mejorar las estrategias de mantenimiento y modernización de las redes, argumentando que la gestión adecuada de la infraestructura puede mejorar significativamente la eficiencia del sistema de saneamiento urbano. **Definir**: define un indicador específico de confiabilidad para redes de alcantarillado, proponiendo que la confiabilidad del sistema puede evaluarse a partir del volumen de aguas residuales crudas que potencialmente se descargan al medio ambiente como consecuencia de fallas en los componentes de la red.

	Otros aportes: a aplicación del método para apoyar decisiones de gestión y rehabilitación de infraestructura, permitiendo identificar qué secciones de la red deberían priorizarse para renovación o mantención.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 **Figure. 1:** *Y-like sewer network fragment.*  **Figure. 6:***Decomposition-equivalence technique.*

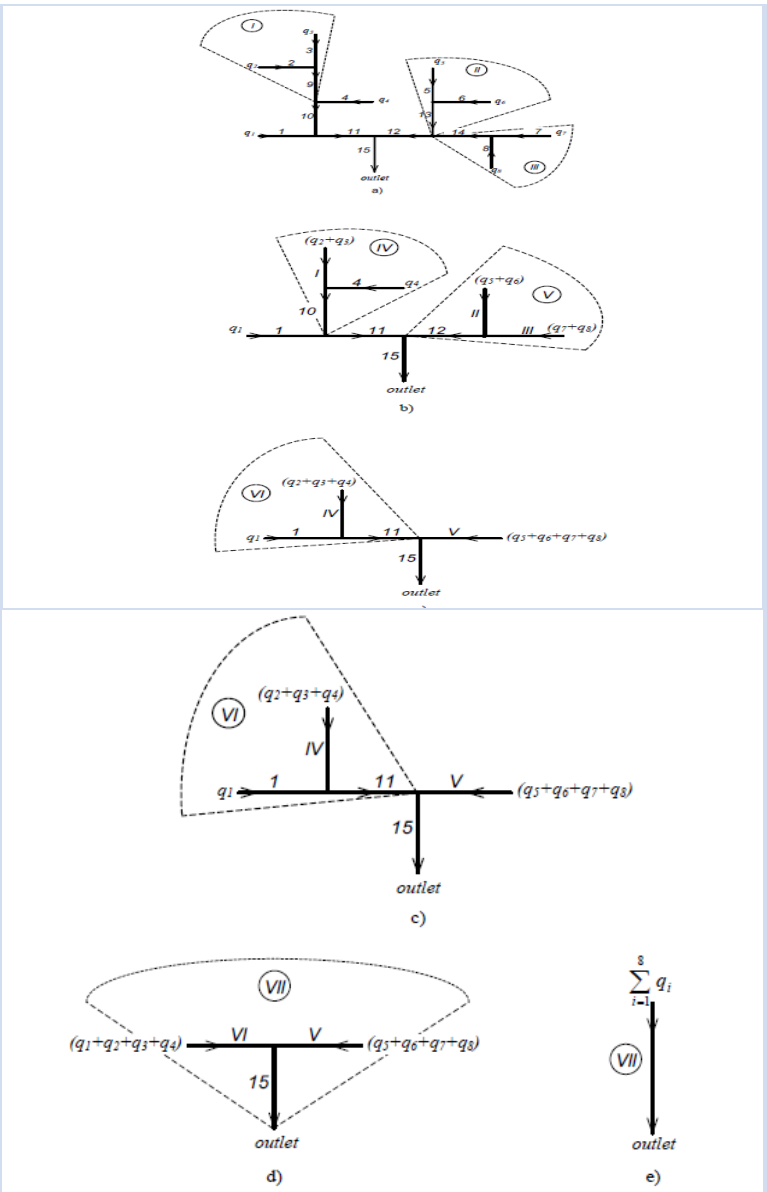
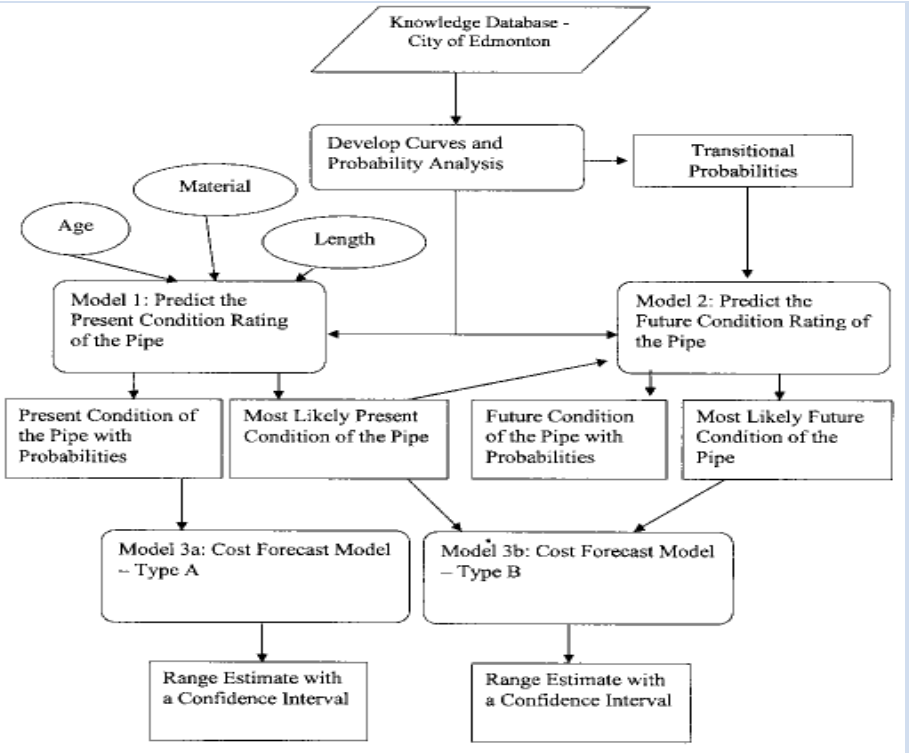


Figure 7: *Initial sewer network a) and its sequential transformations b), c), d), e).*

LECTURA 13	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Libro Blanco de las Tecnologías Sin Zanja - Asociación Ibérica de Tecnología Sin Zanja - 2018
Palabras claves:	• Tecnologías sin zanja • Ciudades Inteligentes • Mantenimiento y Limpieza • Rehabilitación de Tuberías
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 7. **Redacciones propias**	La tecnología sin zanja corresponde a un conjunto de métodos y técnicas que permiten intervenir tuberías subterráneas ya sea para su instalación, reemplazo, renovación, rehabilitación, inspección o detección de fallas sin necesidad de realizar excavaciones abiertas a lo largo de toda la conducción. A diferencia de los métodos tradicionales, que requieren abrir zanjas extensas para acceder a las tuberías, estas tecnologías permiten trabajar desde puntos de acceso específicos, lo que reduce significativamente la intervención sobre la superficie y el entorno urbano. Una de las principales ventajas de estas tecnologías es su menor impacto ambiental y urbano**.** Al reducir la excavación del terreno, se disminuyen las alteraciones del suelo, la generación de residuos y las emisiones asociadas a la maquinaria pesada. Además, se evita en gran medida la interrupción del tránsito, la afectación a peatones y las molestias a los residentes cercanos a las obras. Por estas razones, las tecnologías sin zanja son consideradas alternativas más sostenibles y ecológicamente responsables, ya que contribuyen a un uso más eficiente de los recursos y a una menor perturbación del entorno. Desde el punto de vista económico y operativo, estas técnicas también presentan ventajas importantes. En muchos casos permiten reducir los tiempos de ejecución de las obras y los costos indirectos, especialmente aquellos asociados a la reposición de pavimentos, desvíos de tránsito y restauración del entorno urbano. Asimismo, facilitan la aplicación de métodos modernos de rehabilitación de tuberías existentes, lo que permite extender su vida útil sin necesidad de reemplazarlas completamente, mejorando así el rendimiento y la eficiencia de la infraestructura sanitaria. Finalmente, las tecnologías sin zanja también desempeñan un rol relevante en las labores de inspección, mantenimiento y limpieza de redes, particularmente en sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Mediante herramientas como la inspección con cámaras CCTV es posible evaluar el estado interno de las tuberías, identificar fisuras, infiltraciones, obstrucciones u otros defectos, y planificar intervenciones de manera más oportuna. Esto contribuye a mejorar la gestión de los sistemas, favoreciendo estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo que permiten anticipar fallas y optimizar el uso de los recursos disponibles.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Permite orientar la toma de decisiones respecto a las alternativas tecnológicas disponibles para la rehabilitación o renovación de colectores, considerando soluciones que reduzcan el impacto urbano, ambiental y operativo en comparación con los métodos tradicionales de excavación abierta. **Avalar:** Entrega antecedentes técnicos que respaldan la utilización de tecnologías sin zanja como una alternativa eficiente para intervenir redes subterráneas, especialmente en contextos urbanos donde las excavaciones extensas generan mayores costos, impactos y dificultades operacionales. **Complementar:** Aporta elementos que complementan las estrategias tradicionales de mantenimiento y rehabilitación de redes, integrando tecnologías que permiten intervenir la infraestructura existente de manera menos invasiva y con menores tiempos de ejecución. **Definir:** Contribuye a definir criterios técnicos y operacionales para la selección de métodos de intervención en tuberías subterráneas, considerando factores como el estado de la red, el impacto urbano de las obras, la eficiencia en el uso de recursos y la prolongación de la vida útil de la infraestructura. **Contrapropuesta:** Permite plantear alternativas a los métodos convencionales de reparación o reemplazo de tuberías mediante excavaciones abiertas, promoviendo el uso de tecnologías que priorizan la rehabilitación de la infraestructura existente con menor impacto en el entorno urbano. **Otros aportes:** Favorece una visión más moderna de la gestión de redes sanitarias, donde el uso de herramientas tecnológicas, inspecciones mediante CCTV y técnicas de rehabilitación sin zanja permiten mejorar el conocimiento del estado de las tuberías, optimizar la planificación de intervenciones y avanzar hacia modelos de mantenimiento más preventivos y eficientes.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 14	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Civil Engineering and Environmental Systems" Volumen 21, septiembre 2004. "Prediction Models For Sewer Infrastructure Utilizing Rule-Based Simulation"*
Palabras claves:	• Modelado de infraestructura • Simulación • Rehabilitación de alcantarillado • Sistemas civiles
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Este artículo presenta un método para predecir el estado de una tubería de alcantarillado y el costo de rehabilitación correspondiente, considerando la escasez de datos." 1.- "El modelo 1 predice la calificación de condición (CC) de una tubería de alcantarillado en función de su antigüedad, material y longitud" 1.- "El modelo 2 predice la probabilidad de que una tubería de alcantarillado permanezca en el mismo estado o se deteriore a un estado peor cuando su antigüedad aumenta en incrementos de 5 años." 1.- "El modelo 3 presenta un modelo de pronóstico de costos que genera un rango de costos con un intervalo de confianza basado en los resultados de los modelos 1 y 2" 2.- El paper propone un modelo predictivo basado en simulación por reglas para analizar el deterioro de redes de alcantarillado, integrando múltiples variables físicas y operacionales. A diferencia de enfoques tradicionales basados en datos históricos, este modelo permite anticipar el estado futuro de las tuberías incluso en contextos con información limitada, apoyando la planificación de mantenimiento y rehabilitación. Su enfoque flexible y proactivo lo posiciona como una herramienta clave para mejorar la toma de decisiones en la gestión de infraestructura sanitaria."

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Orienta la investigación hacia una gestión predictiva de redes, donde las decisiones no se basan solo en inspecciones o fallas, sino en la evolución esperada del sistema, permitiendo anticipar el deterioro, planificar renovaciones antes de la falla e incorporar una simulación de la gestión de redes. **Avalar**: Refuerza el uso de modelos predictivos basados en reglas como alternativa válida cuando no hay grandes volúmenes de datos. **Complementar:** Complementa la gestión de redes, proponiendo varios modelos de gestión de activos, a diferencia de los modelos presentados anteriormente, este considera la variable de costo de renovación, permitiendo ajustar en base al presupuesto disponible. **Definir:** Define conceptos como: ○ modelos predictivos de infraestructura ○ simulación basada en reglas (rule-based simulation) ○ modelación de deterioro ○ estado de condición futuro **Contrapropuesta:** Considera un análisis de redes de forma unitaria, lo que exige una gran cantidad de información y de bases de datos actualizadas, que no siempre está disponible para todas las redes catastradas, por lo que, si bien es una herramienta bastante completa, presenta desventajas respecto a otros modelos de gestión que abordan de forma más general o agrupada la gestión de redes.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 FIGURE 1 Structure of the rule-based simulation and probability analysis.

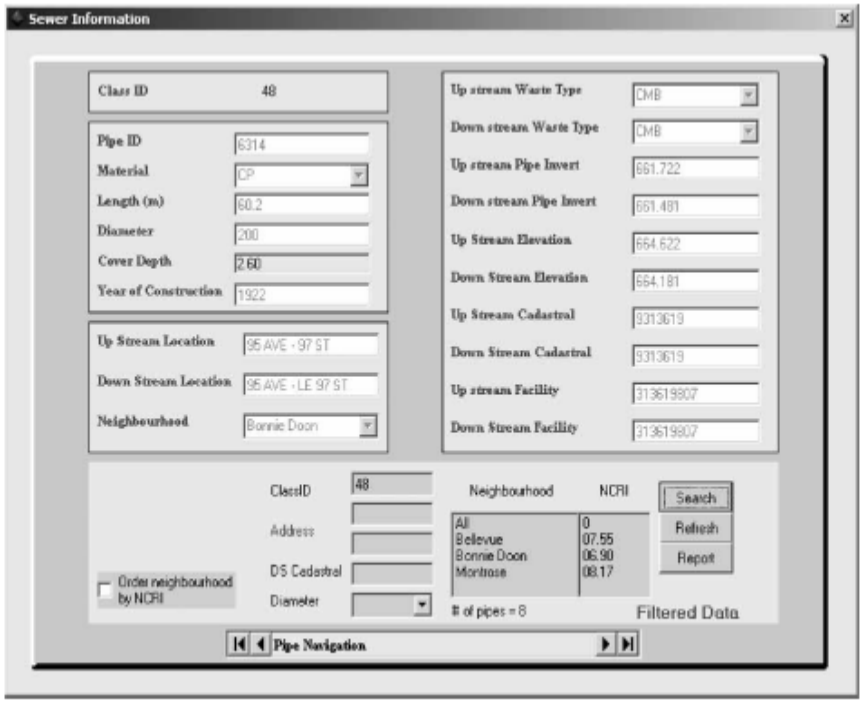


FIGURE 2 Sewer data from the PRISM database.

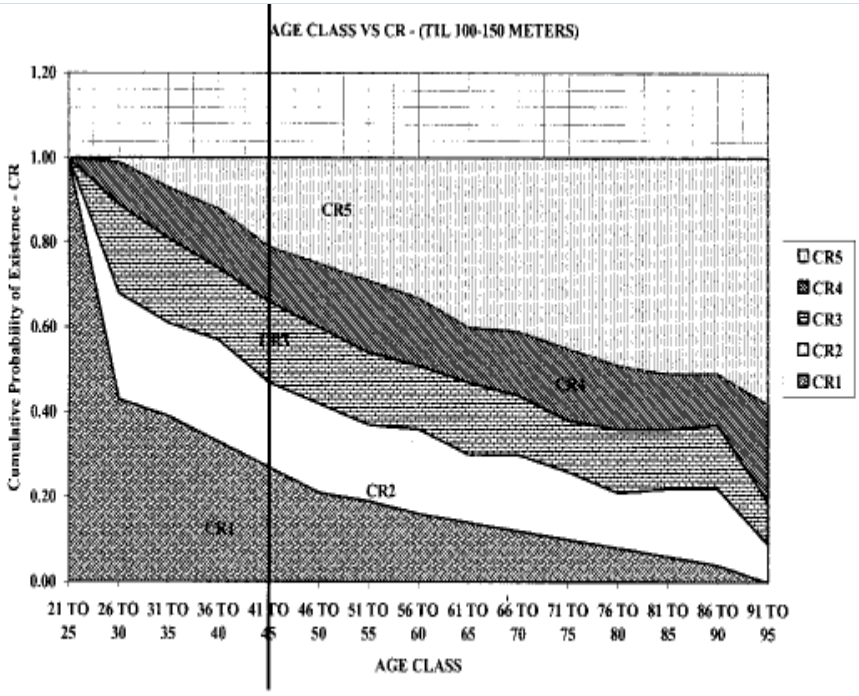
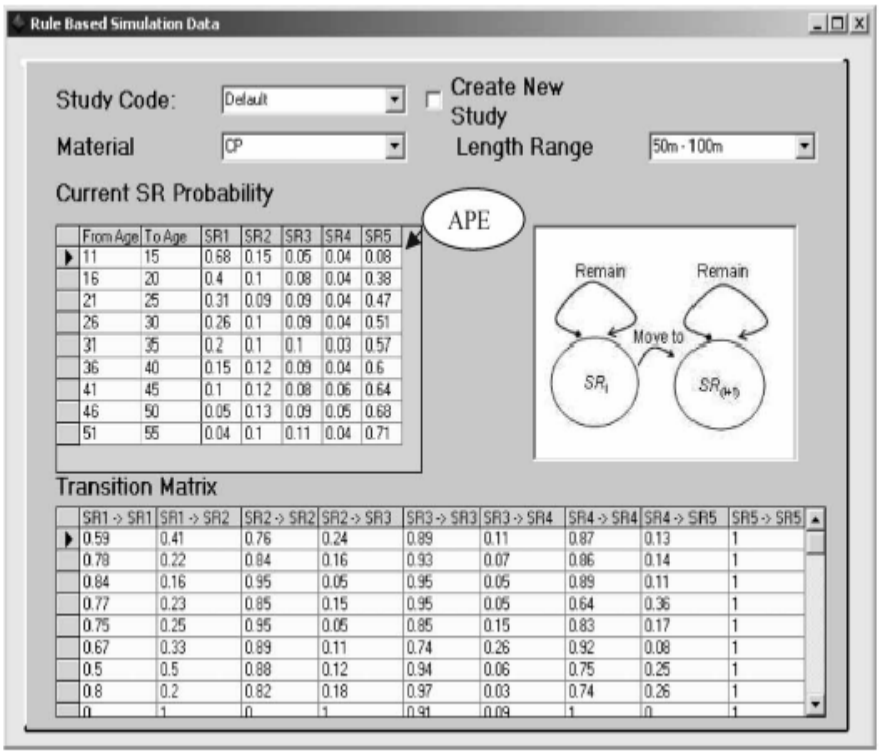


FIGURE 3 Sample APE distribution curve.



From Age	To Age	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5
11	15	0.68	0.15	0.05	0.04	0.08
16	20	0.4	0.1	0.08	0.04	0.38
21	25	0.31	0.09	0.09	0.04	0.47
26	30	0.26	0.1	0.09	0.04	0.51
31	35	0.2	0.1	0.1	0.03	0.57
36	40	0.15	0.12	0.09	0.04	0.6
41	45	0.1	0.12	0.08	0.06	0.64
46	50	0.05	0.13	0.09	0.05	0.68
51	55	0.04	0.1	0.11	0.04	0.71

SR1 -> SR1	SR1 -> SR2	SR2 -> SR2	SR2 -> SR3	SR3 -> SR3	SR3 -> SR4	SR4 -> SR4	SR4 -> SR5	SR5 -> SR5
0.59	0.41	0.76	0.24	0.89	0.11	0.87	0.13	1
0.78	0.22	0.84	0.16	0.93	0.07	0.86	0.14	1
0.84	0.16	0.95	0.05	0.95	0.05	0.89	0.11	1
0.77	0.23	0.85	0.15	0.95	0.05	0.64	0.36	1
0.75	0.25	0.95	0.05	0.85	0.15	0.83	0.17	1
0.67	0.33	0.89	0.11	0.74	0.26	0.92	0.08	1
0.5	0.5	0.88	0.12	0.94	0.06	0.75	0.25	1
0.8	0.2	0.82	0.18	0.97	0.03	0.74	0.26	1
0	1	0	1	0.91	0.09	1	0	1

FIGURE 6 Database information showing the APE and transitional probabilities in the PRISM model.

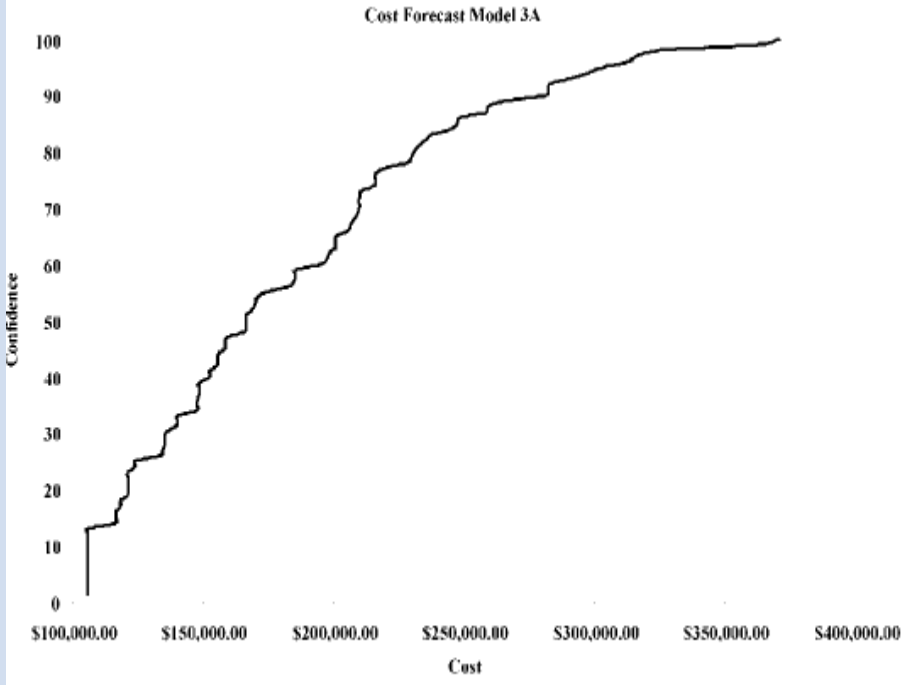
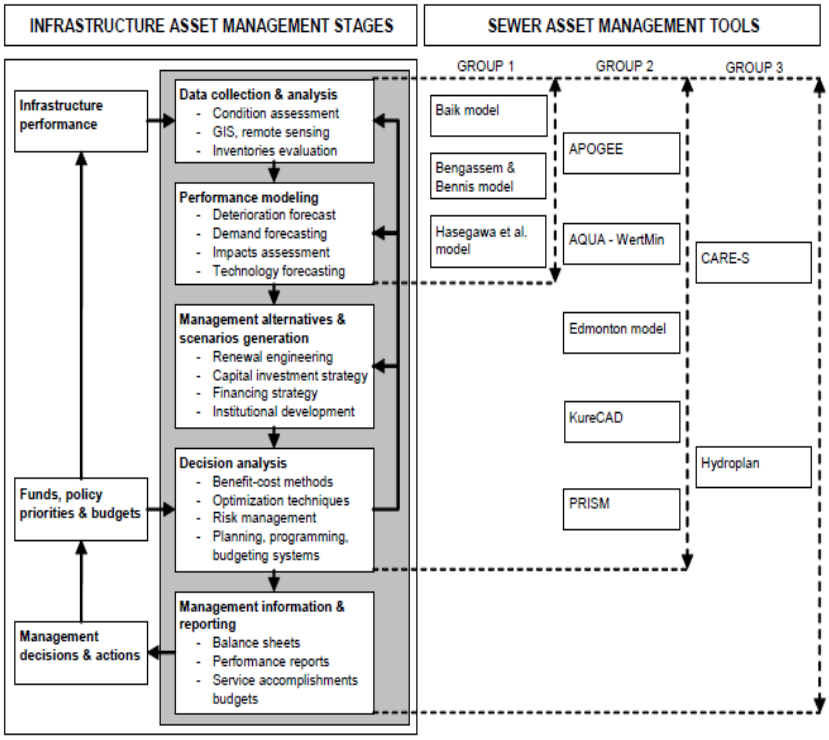


FIGURE 7 Cost *vs.* confidence – range estimate based on the model 3A.

LECTURA 15	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Simposio internacional “International Symposium on New Directions in Urban Water Management”*, enero 2007. “Sewer Network Asset Management Decision Support Tools”*
Palabras claves:	• Alcantarillado • Gestión de activos • Herramientas de apoyo a la toma de decisiones
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1.- “Este documento presenta una revisión de herramientas seleccionadas de apoyo a la toma de decisiones para la gestión de activos de alcantarillado. Las herramientas se agrupan según sus funcionalidades en relación con el sistema completo de gestión de activos de infraestructura.” 2.- El documento separa las herramientas de gestión en 3 grupos: • Grupo 1: Herramientas de análisis de rendimiento. • Grupo 2: Herramientas de análisis de rendimiento y toma de decisiones. • Group 3: Total sewer asset management tools. 1.- “Las herramientas de apoyo a la toma de decisiones en la gestión de activos incluidas en esta categoría se refieren a aquellas herramientas que se ocupan principalmente del modelado del rendimiento.” 2.- las herramientas del grupo 1 se pueden identificar en: • Modelo Baik (US): estima las probabilidades de transición de diferentes estados de condición en modelos de deterioro basados en cadenas de Markov para sistemas de aguas residuales, utilizando un modelo probit ordenado. • Modelo Bengassem y Bennis: es una metodología sistemática para evaluar las condiciones estructurales e hidráulicas de un sistema de alcantarillado, utilizando un sistema de inferencia difusa como ayuda en el desarrollo de un programa de rehabilitación. • Modelo de Hasegawa et al. (Japón): estima el grado de necesidad de reparaciones para las tuberías de alcantarillado existentes, basándose en cuatro puntos de vista: 1) disminución de la capacidad de flujo, 2) posibilidad de colapso de la carretera, 3) desbordamiento e inundación del alcantarillado influenciados por la entrada/infiltración, y 4) aumento del costo del tratamiento debido a la entrada/infiltración.

	2.- Las herramientas del grupo 2 se pueden identificar en: • APOGEE: es un sistema de apoyo a la toma de decisiones desarrollado con el objetivo de optimizar la planificación anual y la rehabilitación de redes de alcantarillado. • AQUA-WertMin: es un programa informático diseñado para ayudar a las empresas de servicios públicos en la planificación de estrategias de inspección por TV, renovación y construcción de nuevas redes de aguas residuales. • Modelos de Edmonton (Canadá): Se crearon tres modelos, cada uno utilizando una combinación de simulación basada en reglas y análisis de probabilidad, para ayudar a la ciudad de Edmonton a planificar sus gastos de mantenimiento de alcantarillado (Ruwanpura et al., 2004). El objetivo principal es pronosticar el costo de reparación o rehabilitación de las tuberías existentes basándose únicamente en su estado • CureCAD: es una herramienta basada en SIG para la gestión de la rehabilitación de tuberías de alcantarillado con las siguientes funcionalidades: 1) almacenamiento de información de activos, 2) priorización de la rehabilitación de tuberías de alcantarillado y 3) provisión de documentos para la implementación de planes de rehabilitación. • PRISM (Gestión Proactiva de Infraestructuras de Alcantarillado para la Rehabilitación) es un modelo computarizado de desembolso financiero para priorizar la planificación de la rehabilitación de tuberías de alcantarillado, basado en un horizonte de restricciones presupuestarias. 2.- Las herramientas del grupo 3 se pueden identificar: • CARE-S (Rehabilitación Asistida por Computadora de Redes de Alcantarillado) es un sistema de apoyo a la toma de decisiones diseñado para guiar a los ingenieros municipales en el establecimiento y mantenimiento de una gestión eficaz de las redes de alcantarillado. • Hydroplan es un enfoque integrado para la gestión de activos de alcantarillado basado en evaluaciones de riesgos estructurales, hidráulicos y ambientales realizadas en los elementos estratégicos de la red de alcantarillado.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Orienta la investigación hacia una gestión estratégica de activos, donde las decisiones no se toman por urgencia, sino por análisis integrado de información. **Avalar**: Refuerza el uso de sistemas de apoyo a la decisión (DSS) como herramienta clave en la gestión de redes, considerando distintos modelos de gestión de activos para las redes de alcantarillado. **Complementar:** Complementa la gestión de redes, proponiendo varios modelos de gestión de activos, a diferencia de los modelos de gestión de riesgo o a través de sensores en la red. **Definir:** Define varias herramientas de gestión de activos, que ayudan al análisis del rendimiento de las redes y herramientas para la toma de decisiones de renovación o rehabilitación de colectores.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Figure 1. The generic infrastructure asset management system (Lemer, 1999) with the corresponding sewer asset management tools applicable at different stages.

Summarized in table 1 are the relevant data for each of the sewer asset management decision-support tools described above.

Table 1. Sewer asset management decision-support tools relevant data.

	TOOLS	DATA DESCRIPTION																								
		Pipe material	Pipe age	Pipe length	Pipe diameter	Pipe thickness	Pipe shape	Depth of pipe	Type of pipe	Pipe roughness	Pipe slope	Pipe location	Condition data	Defects/ History	Flow data	Leakage rates	Soil data	Land use	Traffic/ Road	Tree location	Groundwater data	Population	Geotechnical	Type of joints	Economic data	Rehab tech/cost
Group 1	Baik	x	x	x	x			x	x		x		x		x	x	x		x		x					
	Bengassem & Bennis			x	x			x			x	x	x	x	x		x						x			
	Hasegawa et al.	x	x	x	x			x			x		x		x	x	x		x		x				x	
Group 2	APOGEE	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x		x			x
	Aqua-Wertmin	x	x	x	x		x		x		x	x	x	x		x	x		x					x	x	x
	Edmonton	x	x	x	x			x					x				x						x			x
	KureCAD	x	x	x	x						x	x	x	x		x	x		x	x				x	x	x
	PRISM	x	x	x	x			x	x				x													x
Group 3	CARE-S	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
	Hydroplan	x	x	x	x		x	x	x		x	x	x		x		x	x	x	x		x				x

LECTURA 16	TIPO de lectura: Específico
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico: *Sustainable Urban Drainage System (SUDS) modeling supporting decision-making: A systematic quantitative review*. Revisión sistemática cuantitativa sobre modelación de SUDS y apoyo a la toma de decisiones.
Palabras claves:	• SUDS • Drenaje urbano sostenible • Modelación • Toma de decisiones • Análisis multicriterio • Planificación urbana • Gestión de aguas.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 8. **Redacciones propias**	1.- “Los sistemas de drenaje urbano sostenible han surgido como una solución eficaz para mejorar la gestión de aguas urbanas, proporcionando beneficios hidráulicos, ambientales y sociales”. 1.- “Las herramientas de modelación son fundamentales para apoyar la toma de decisiones en la planificación y diseño de sistemas urbanos de drenaje”.

	1.- “Los enfoques multicriterio permiten integrar múltiples variables en la evaluación de alternativas de gestión”. 2.- El artículo presenta una revisión sistemática de herramientas de modelación utilizadas en sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS), destacando su rol en la toma de decisiones para la planificación de infraestructura hídrica. Se evidencia una creciente integración de enfoques multicriterio que consideran variables técnicas, ambientales y sociales. Aunque el estudio se centra en drenaje pluvial, sus metodologías de análisis y soporte a la decisión son transferibles a la gestión de redes de alcantarillado, especialmente en procesos de planificación estratégica y evaluación de alternativas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: entrega metodologías de apoyo a la toma de decisiones aplicables a sistemas sanitarios. **Avalar**: respalda el uso de análisis multicriterio en planificación de infraestructura hídrica. **Complementar**: aporta herramientas de modelación aplicables indirectamente al alcantarillado. **Definir**: clarifica el rol de la modelación en procesos de planificación. **Contrapropuesta**: no aborda directamente alcantarillado sanitario. **Otros aportes**: evidencia tendencias en integración de variables múltiples (técnicas, sociales, ambientales).
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

Tabla V. Resultados cálculo tasa de costo de capital últimos procesos tarifarios

Proceso	Año IV°	IV			V			VI		
Empresa	proceso°*	r_f	λ_i	TCC	r_f	λ_i	TCC	r_f	λ_i	TCC
Aguas Décima	2004	5,32	3,33	8,65	2,93	3,33	6,26			
Aguas Chacabuco	2005	5,16	3,35	8,51	2,90	3,38	6,28	3,01	3,39	6,40
Aguas Andinas	2005	4,61	3,08	7,69	3,02	3,08	6,10	2,18	3,08	5,26
ESVAL	2005	4,61	3,25	7,86	3,02	3,23	6,25	2,18	3,20	5,38
Aguas Cordillera	2005	3,89	3,23	7,12	3,01	3,23	6,24	2,18	3,31	5,49
ESSSI	2005	4,68	3,50	8,18				2,18	3,38	5,56
Aguas Manquehue	2005	3,95	3,35	7,30	3,00	3,33	6,33	2,18	3,40	5,58
ESSBIO	2006	2,48	3,17	5,65	3,01	3,14	6,15	1,47	3,06	4,53
Nuevosur	2006	2,48	3,25	5,73	3,01	3,20	6,21	1,47	3,24	4,71
Aguas Del Valle	2006	2,48	3,32	5,80	3,01	3,31	6,32	1,47	3,23	4,70
ESSAL	2006	2,48	3,30	5,78	3,01	3,28	6,29	1,47	3,28	4,75
Aguas Antofagasta	2006	2,71	3,28	5,99	3,01	3,28	6,29	1,42	3,25	4,67
Aguas Magallanes	2006	2,38	3,35	5,73	3,01	3,33	6,34			
Aguas Araucanía	2006	3,43	3,37	6,80	3,01	3,32	6,33			
ECONSSA	2006				3,01	3,30	6,31	1,42	3,30	4,72
TRATACAL	2006				3,01	3,28	6,29	1,42	3,28	4,70
SMAPA	2006	2,66	3,30	5,96				1,42	3,23	4,65
Aguas Patagonia	2006	2,28	3,39	5,67						
Aguas San Pedro	2007				3,01	3,25	6,26	1,49	3,45	4,94
Aguas Del Altiplano	2008	2,81	3,28	6,09	3,01	3,25	6,26			
Aguas Chañar	2009	4,61	3,35	7,96	3,01	3,30	6,31			

Fuente: Elaboración a partir de SISS (Portal Transparencia). * Si el proceso tarifario comenzó en el año 2005, el IV proceso corresponde a los años 2005-2010, el V al período 2010-2015 y el VI entre 2015-2020.

LECTURA 17	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Norma técnica británica "BS EN 752*", 1998. "Drain and Serwer System Outside Buildings - Part 5. Rehabilitation"*
Palabras claves:	• Rehabilitación • Renovación • Reparación • Remplazo • Condición estructural • Tanque de alcantarillado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: 1."Citas textuales"	1.- "Los problemas que se presentan en los sistemas de drenaje y alcantarillado existentes suelen estar interrelacionados, y las obras de mejora a menudo se diseñan para solucionar varios problemas simultáneamente. La investigación y la planificación de las obras de

2. Redacciones propias	mejora deben realizarse en toda la cuenca hidrográfica para poder considerar conjuntamente todos los problemas y sus causas.” 2.- La norma presenta una propuesta de modelo de gestión de redes, con todos los aspectos que este modelo debería tener, poniendo enfoque en 3 aspectos importantes: • Investigación hidráulica: considerando capacidad de porteo. • Investigación medioambiental: considerando el impacto que los reboses o uso de aliviaderos de tormenta puedan generar. • Investigación estructural: considerando la posible tasa de fallas de colectores. 2.- Bajo los 3 aspectos, el enfoque de la norma es presentar las etapas que un modelo de gestión debería tener, lo que se puede simplificar en: • Etapa inicial de planificación. • Etapa de estudio y diagnóstico de las redes. • Etapa de desarrollo de soluciones. • Etapa de implementación y monitoreo de resultados.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Presenta una estructura de un modelo de gestión de redes, con el fin de orientar a los administradores de redes de alcantarillados, sujetos a los campos de aplicación de la norma. **Avalar**: Refuerza el uso de modelos de gestión para la operación de las redes de alcantarillado. **Definir:** define la necesidad de aplicar planes de gestión de redes enfocados en los 3 aspectos más relevantes: o Enfoque hidráulico. o Enfoque medioambiental. o Enfoque estructural. **Contrapropuesta:** Solo presenta los componentes que debe tener el plan de gestión a desarrollar para los administradores de redes de alcantarillado, sin embargo no define ni detalla cómo se debe desarrollar cada etapa del plan presentado.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

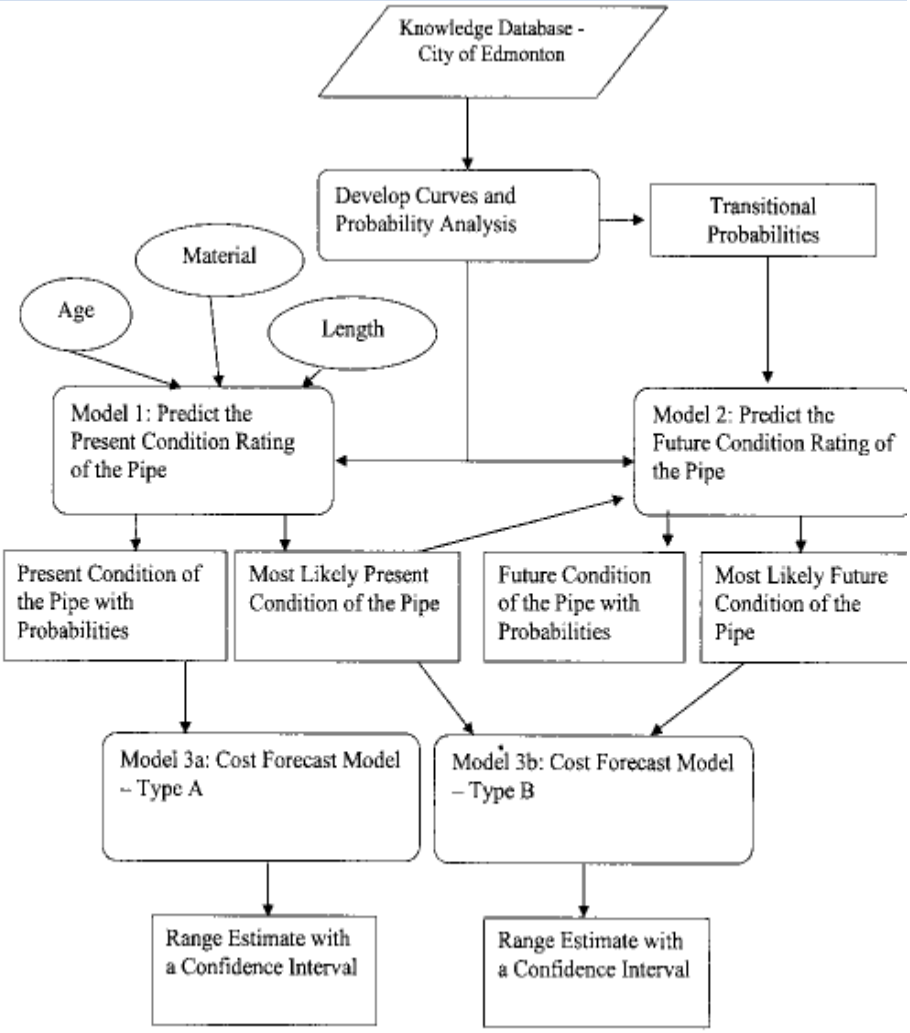


FIGURE 1 Structure of the rule-based simulation and probability analysis.

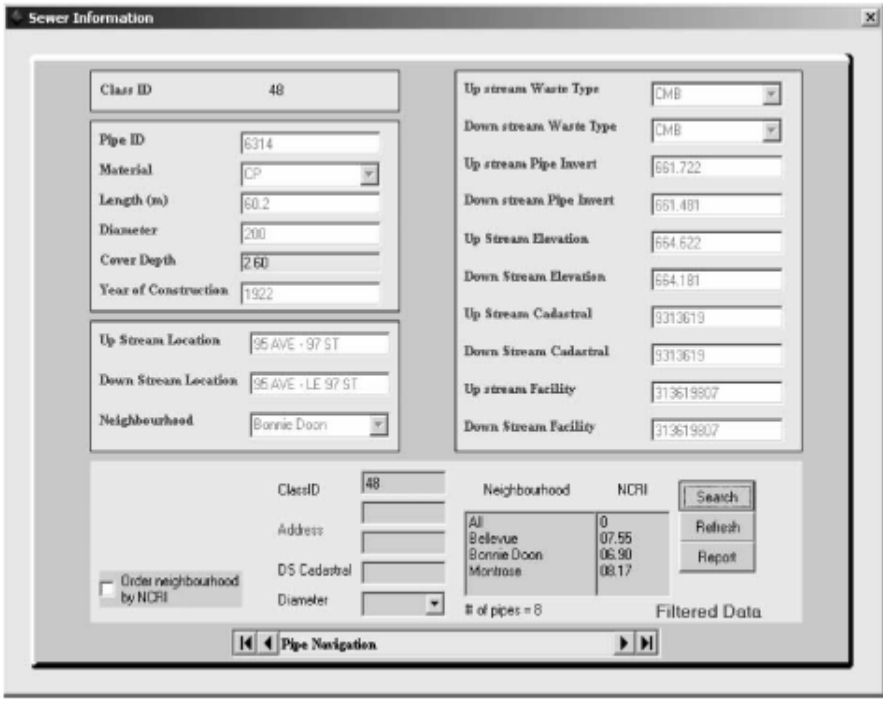


FIGURE 2 Sewer data from the PRISM database.

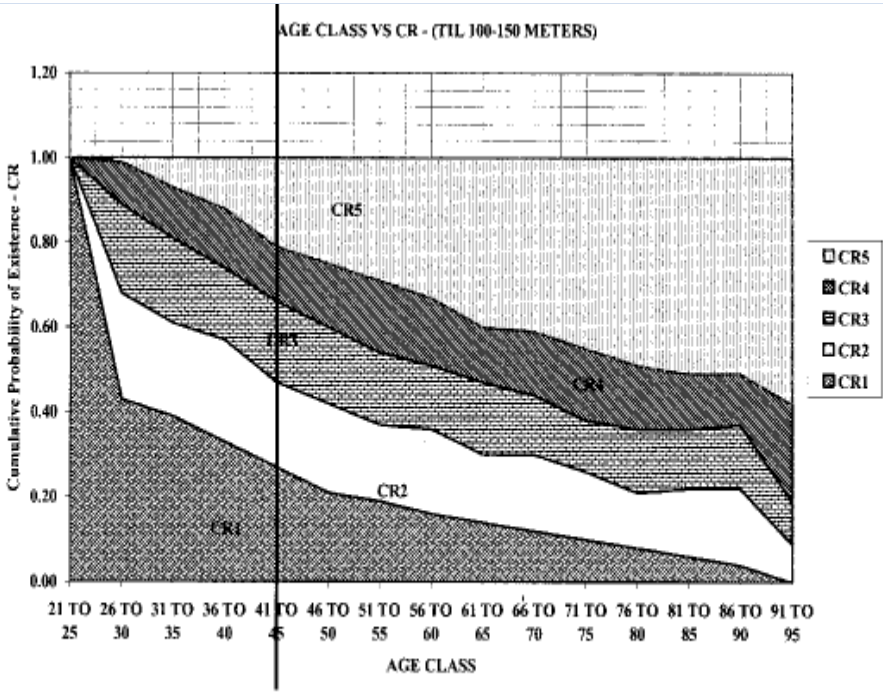
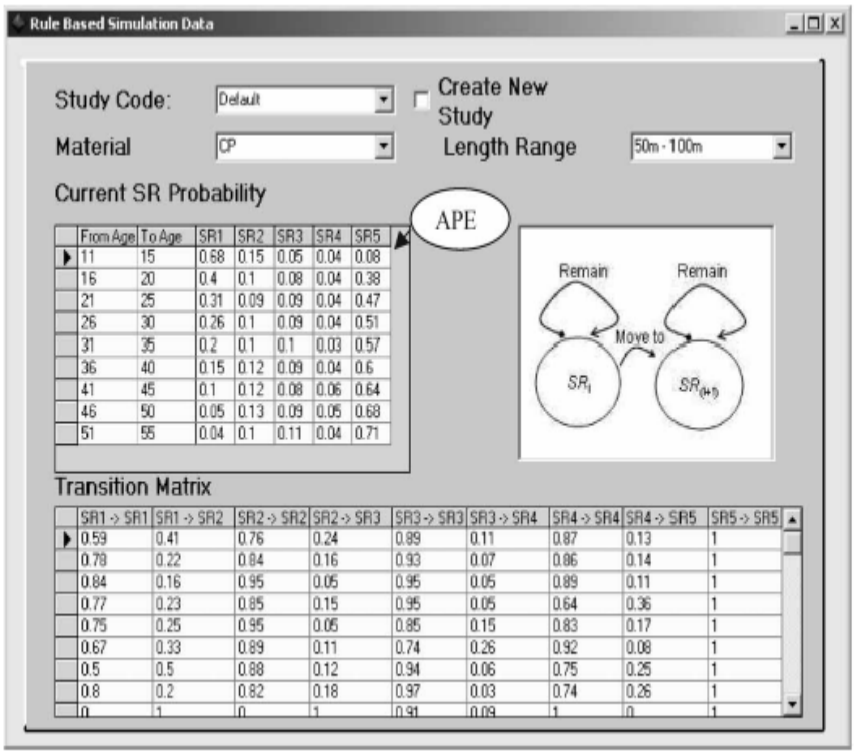


FIGURE 3 Sample APE distribution curve.



From Age	To Age	SR1	SR2	SR3	SR4	SR5
11	15	0.68	0.15	0.05	0.04	0.08
16	20	0.4	0.1	0.08	0.04	0.38
21	25	0.31	0.09	0.09	0.04	0.47
26	30	0.26	0.1	0.09	0.04	0.51
31	35	0.2	0.1	0.1	0.03	0.57
36	40	0.15	0.12	0.09	0.04	0.6
41	45	0.1	0.12	0.08	0.06	0.64
46	50	0.05	0.13	0.09	0.05	0.68
51	55	0.04	0.1	0.11	0.04	0.71

SR1 -> SR1	SR1 -> SR2	SR2 -> SR2	SR2 -> SR3	SR3 -> SR3	SR3 -> SR4	SR4 -> SR4	SR4 -> SR5	SR5 -> SR5
0.59	0.41	0.76	0.24	0.89	0.11	0.87	0.13	1
0.78	0.22	0.84	0.16	0.93	0.07	0.86	0.14	1
0.84	0.16	0.95	0.05	0.95	0.05	0.89	0.11	1
0.77	0.23	0.85	0.15	0.95	0.05	0.64	0.36	1
0.75	0.25	0.95	0.05	0.85	0.15	0.83	0.17	1
0.67	0.33	0.89	0.11	0.74	0.26	0.92	0.08	1
0.5	0.5	0.88	0.12	0.94	0.06	0.75	0.25	1
0.8	0.2	0.82	0.18	0.97	0.03	0.74	0.26	1
0	1	0	1	0.91	0.09	1	0	1

FIGURE 6 Database information showing the APE and transitional probabilities in the PRISM model.

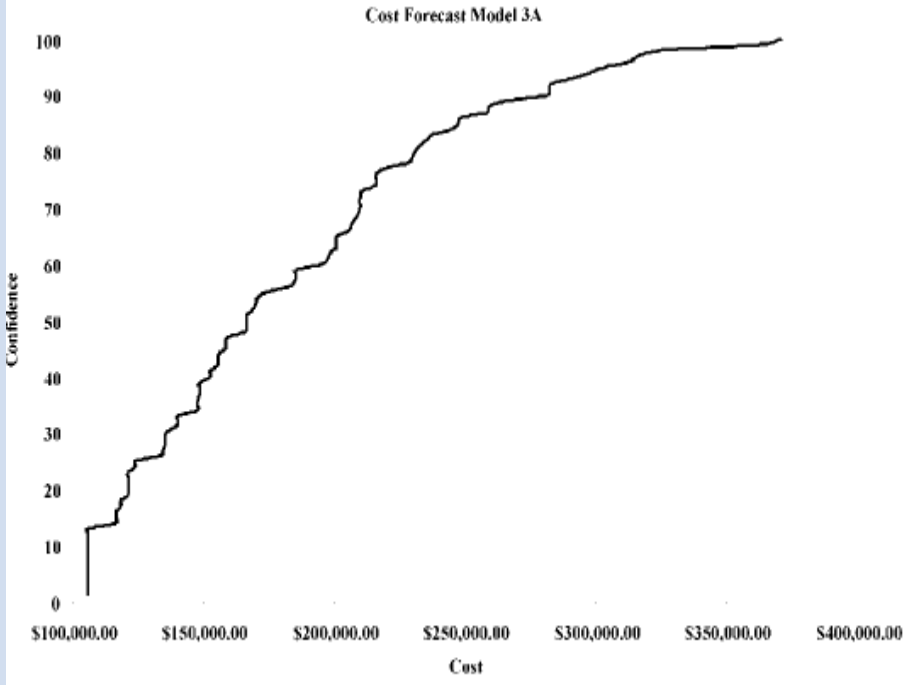
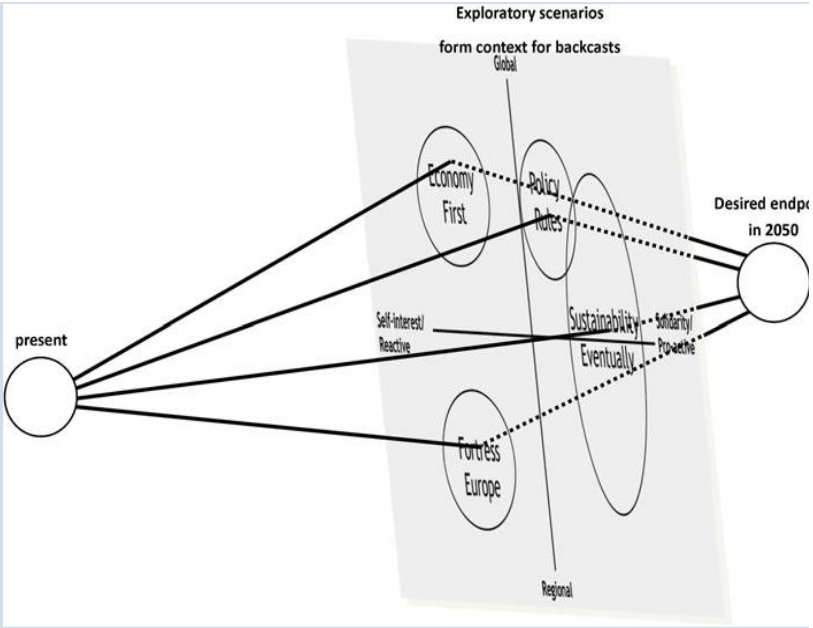


FIGURE 7 Cost *vs.* confidence – range estimate based on the model 3A.

LECTURA 18	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Van Vliet, M.; Kok, K. Combining backcasting and exploratory scenarios to develop robust water strategies in face of uncertain futures. Revista *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, Springer.
Palabras claves:	• Gestión del agua • Escenarios exploratorios • Backcasting • Estrategias robustas • Planificación hídrica • Toma de decisions • Incertidumbre.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 9. **Redacciones propias**	1.- “Las estrategias de gestión del agua deben desarrollarse considerando un entorno complejo e incierto influenciado por cambios globales.” 1.- “Los escenarios exploratorios permiten analizar futuros plausibles y comprender las implicaciones de diferentes factores sociales, económicos y ambientales.” 1.- “La combinación de escenarios exploratorios y backcasting permite identificar estrategias robustas que son efectivas en diferentes contextos socioambientales.” 2.- El artículo propone una metodología que combina escenarios exploratorios con el enfoque de backcasting para desarrollar estrategias robustas de gestión del agua frente a futuros inciertos. El método parte de la definición de un objetivo deseado en el futuro (por ejemplo, una gestión sostenible del agua hacia 2050) y luego trabaja hacia atrás para identificar acciones necesarias para alcanzarlo. Esta metodología permite evaluar diferentes contextos socioeconómicos y ambientales, facilitando la identificación de estrategias que sean efectivas en múltiples escenarios. El enfoque destaca la importancia de integrar dimensiones tecnológicas, sociales y de gobernanza en la planificación de políticas hídricas.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** aporta una metodología para la planificación estratégica de sistemas de agua bajo incertidumbre. **Avalar:** respalda el uso de escenarios y métodos participativos en la toma de decisiones. **Complementar:** introduce herramientas de planificación estratégica aplicables a la gestión de redes de saneamiento. **Definir:** clarifica conceptos clave como backcasting, escenarios exploratorios y estrategias robustas. **Contrapropuesta:** propone integrar enfoques prospectivos para mejorar la planificación del agua. **Otros aportes:** destaca la importancia de la participación de actores y la gobernanza en la gestión hídrica.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 1 Relation between the exploratory scenarios and the backcasts. One desired endpoint is chosen for 2050 and strategies are developed to achieve that endpoint. These strategies need to be effective in the context of one of the four exploratory scenarios by working backwards from 2050 to the present. This is done for each exploratory scenario, thus creating four backcasts

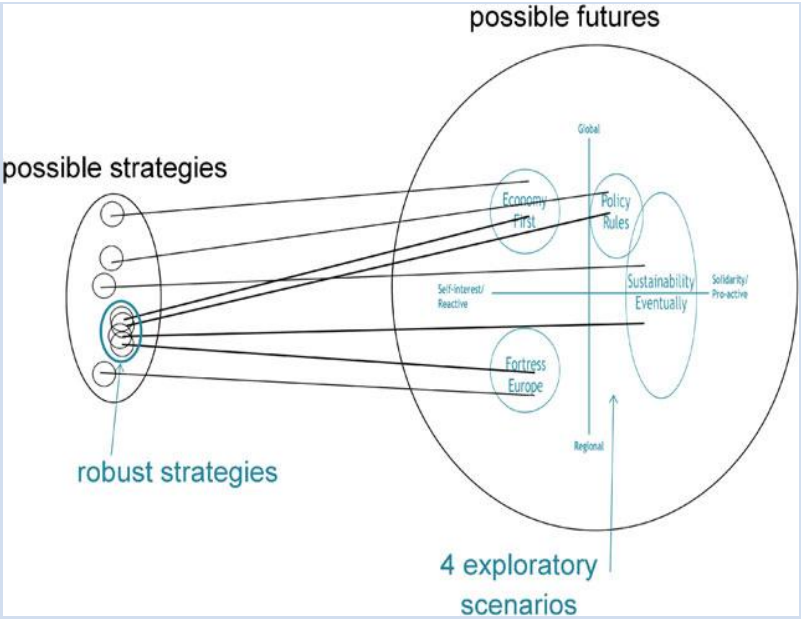


Fig. 2 Identifying robust strategies. Strategies are developed within the context of four exploratory scenarios that try to capture part of the uncertainty of all possible futures. This leads to an overview of possible strategies. Strategies that are effective in all four exploratory scenarios are robust

LECTURA 19	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Guía técnica "International Water Association*", publicado 2003. "Performance indicators for wastewater services"*
Palabras claves:	• Indicadores de desempeño • Gestión de redes de alcantarillado • Medición de eficiencia
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "El enfoque utilizado para la especificación, selección y uso de los indicadores de desempeño es común tanto para los servicios de abastecimiento de agua como para los de aguas residuales, si bien los indicadores específicos recomendados para cada sistema son diferentes. Los sistemas de indicadores de desempeño de la IWA tienen como objetivo proporcionar a las entidades gestoras herramientas de gestión objetivas e integradas, así como a otras partes interesadas en cualquier aspecto relacionado con la prestación de servicios de agua y aguas residuales." 1.- "Los indicadores de desempeño (ID) pueden considerarse elementos clave para definir la eficiencia y la eficacia de la prestación de servicios por parte de una entidad gestora"

	1.- “Los ID también pueden considerarse como un punto de referencia para la evaluación comparativa de métricas: una evaluación cuantitativa y comparativa del desempeño” 2.- En la guía se presentan indicadores de desempeño, donde se destacan los siguientes enfoques: • Indicadores ambientales. • Indicadores de recursos humanos. • Indicadores de infraestructura. • Indicadores operacionales. • Indicadores de calidad de servicio. • Indicadores financieros – económicos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Presenta indicadores adimensionales que permiten evaluar el desempeño de forma individual de cada gestor de redes de alcantarillado. **Avalar**: Se presenta una fórmula de cálculo adimensional del desempeño de la gestión de redes de alcantarillado, lo que permite realizar una comparación entre empresas sanitarias. **Definir:** define ecuaciones que permiten medir el desempeño de la red de alcantarillado, lo que puede ser utilizado como una medida de cálculo y evaluación del resultado de la implementación de una metodología de gestión de redes.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

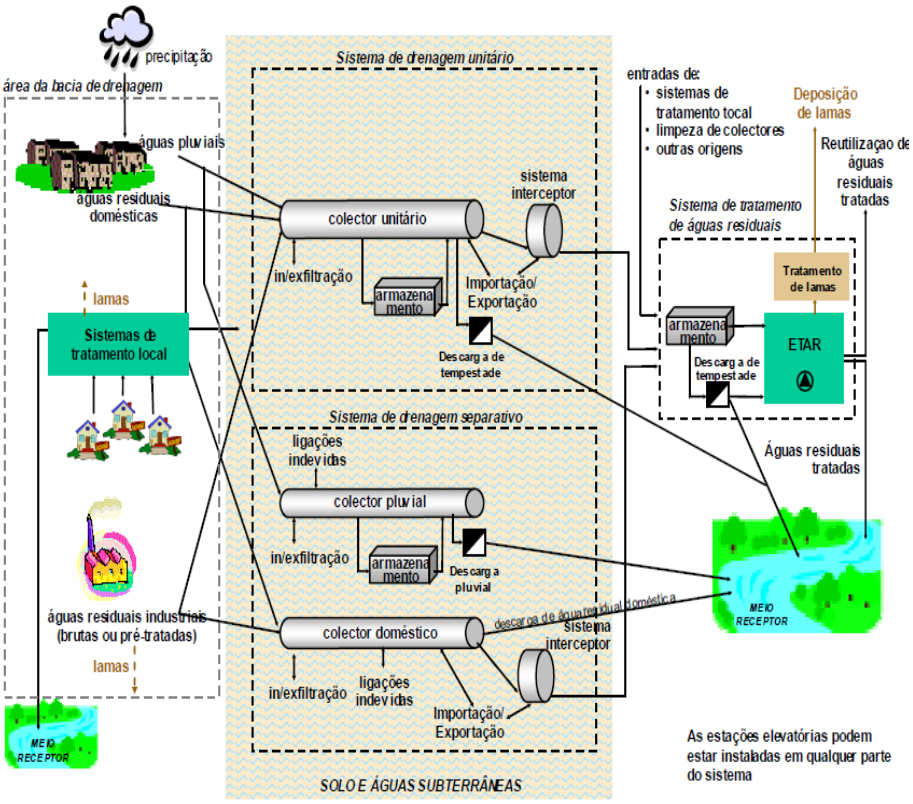


Figura 1. Sistema de águas residuais

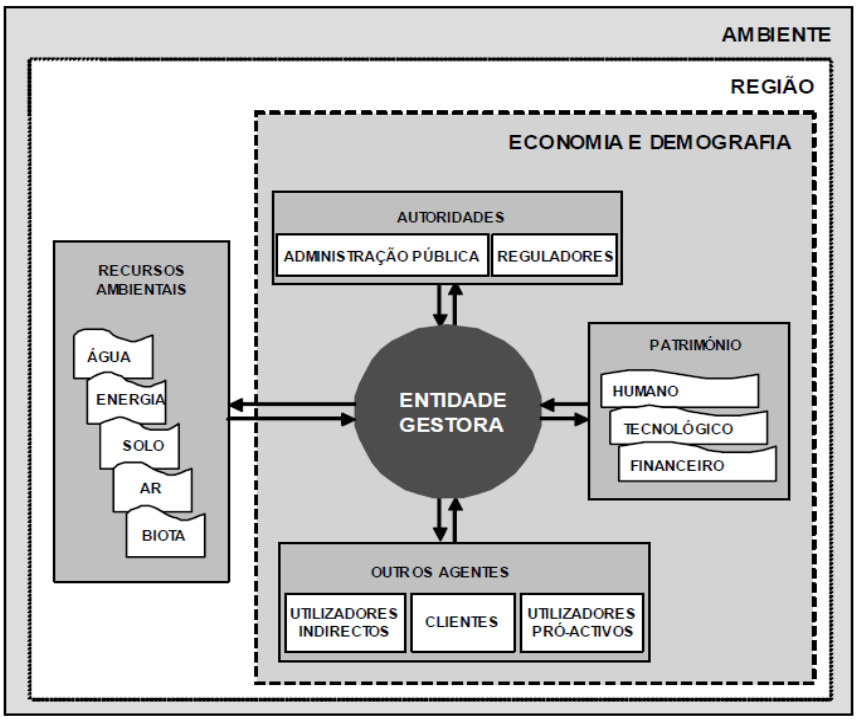


Figura 2. Contexto das entidades gestoras de sistemas de águas residuais

(adaptado de Alegre *et al.*, 1997)

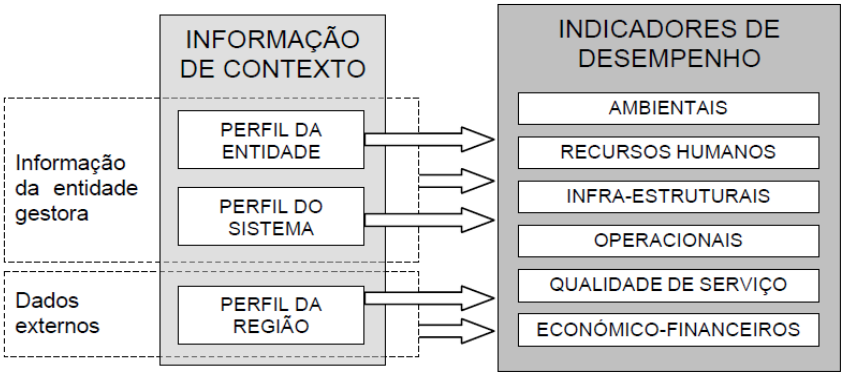
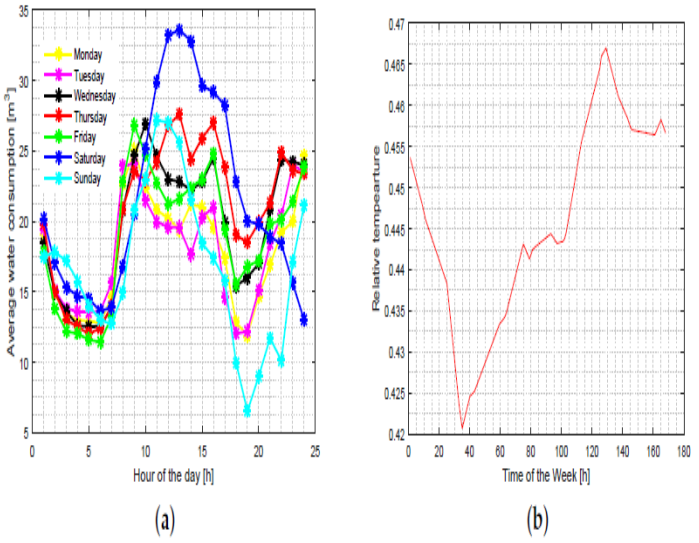


Figura 6. Estrutura da IC e dos IDs para águas residuais

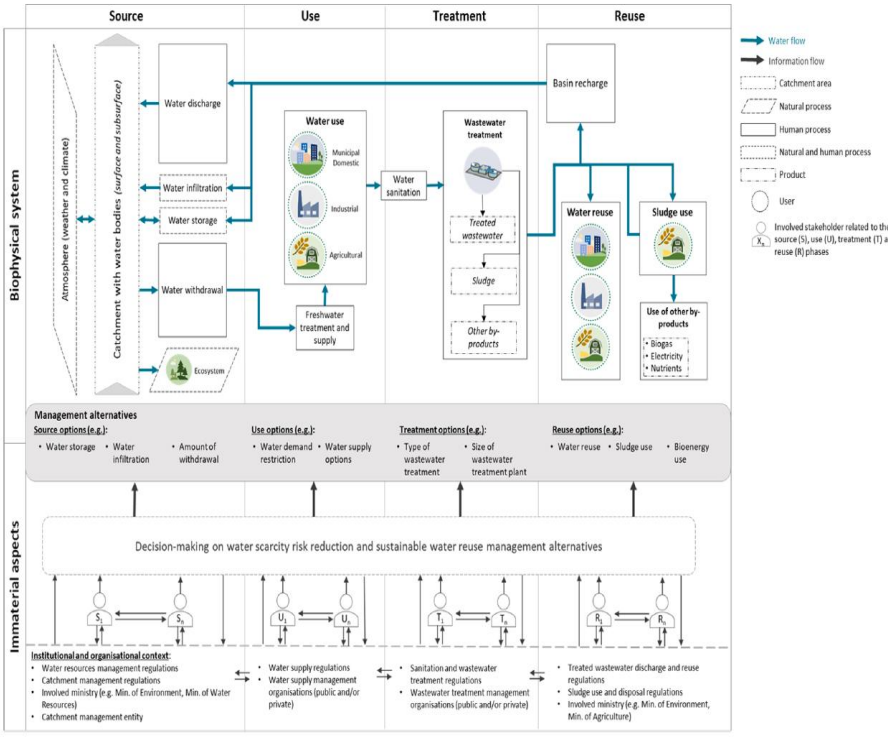
(adaptado de Matos *et al.*, 2002a)

LECTURA 20	TIPO de lectura: Complementario
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Anele, A. O.; Hamam, Y.; Abu-Mahfouz, A. M.; Todini, E. (2017). *Overview, Comparative Assessment and Recommendations of Forecasting Models for Short-Term Water Demand Prediction.* Revista Water, 9(11), 887.
Palabras claves:	• Predicción de demanda de agua • Redes de distribución de agua • Modelos de pronóstico • Series de tiempo • Redes neuronales artificiales • Modelos híbridos • Gestión de sistemas de agua.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 10. **Redacciones propias**	1.- “La predicción de la demanda de agua a corto plazo es un componente importante para la operación, gestión y optimización de los sistemas de distribución de agua.” 1.- “Las empresas de agua requieren pronósticos precisos de la demanda para proporcionar agua con calidad, cantidad y presión adecuadas.” 1.- “Los modelos híbridos que combinan diferentes métodos de predicción pueden mejorar el desempeño de los pronósticos.” 2.- El artículo realiza una revisión y evaluación comparativa de distintos modelos utilizados para predecir la demanda de agua a corto plazo. Se analizan modelos de series temporales, modelos de regresión, redes neuronales artificiales y modelos híbridos, comparando su desempeño mediante indicadores estadísticos de error. El estudio demuestra que los modelos híbridos, que combinan distintos enfoques de modelación, pueden mejorar la precisión de las predicciones y apoyar la gestión operativa de sistemas de distribución de agua.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** proporciona una visión general de los métodos de predicción utilizados en sistemas de agua. **Avalar:** respalda el uso de modelos de predicción para mejorar la operación y gestión de redes hidráulicas. **Complementar:** aporta herramientas analíticas que pueden aplicarse a la planificación y operación de sistemas sanitarios. **Definir:** clarifica los principales tipos de modelos de pronóstico de demanda de agua. **Contrapropuesta:** sugiere el uso de modelos híbridos como alternativa para mejorar la precisión de los pronósticos. **Otros aportes:** entrega una evaluación comparativa de metodologías utilizadas en la literatura científica.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Figure 1. (a) Daily water demand profile and (b) Single exogenous variable "relative temperature".

LECTURA 21	**TIPO de lectura: Complementaria**

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Journal of Hydrology", Volumen 591, diciembre 2020. "Risk and sustainability assessment framework for decision support in 'water scarcity – water reuse' situations"*
Palabras claves:	• Escasez de agua • Reutilización del agua • Reducción de riesgos • Sostenibilidad • Toma de decisiones • Evaluación integrada
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "El lector puede esperar un trabajo conceptual centrado en los aspectos de cantidad de agua en la gestión hídrica, integrando la evaluación del riesgo de escasez de agua y la evaluación de la sostenibilidad de la reutilización en un marco de apoyo a la toma de decisiones." 1.- "El marco de evaluación integrada de riesgos y sostenibilidad (RSA) previsto está diseñado para aplicarse de dos maneras: a) ex ante, para respaldar las decisiones relacionadas con la conveniencia de implementar una medida de reutilización del agua, considerando un riesgo medido o proyectado de escasez hídrica, y los requisitos para su implementación sostenible; b) ex post, para proporcionar información sobre el riesgo de escasez hídrica y el desempeño sostenible de una medida de reutilización del agua ya implementada." 1.- "Esta investigación contempla los siguientes pasos: • Interrelacionar la escasez de agua con el riesgo y la reutilización del agua con la sostenibilidad. Esto implica utilizar los conceptos de riesgo y sostenibilidad para interpretar las definiciones de escasez de agua y reutilización del agua, respectivamente, así como analizar los riesgos potenciales para la sostenibilidad de la medida de reutilización del agua. • Relacionar las evaluaciones de riesgo y sostenibilidad entre sí y con la toma de decisiones. Esto aborda la alineación de la evaluación integrada con la toma de decisiones, centrándose en el alcance común de la evaluación y sus componentes (por ejemplo, estructura, procedimiento, indicadores)." 2.- La publicación propone un marco conceptual integrado de evaluación de riesgo y sostenibilidad (RSA Framework), el cual se propone en las siguientes etapas: • Definición del objetivo o interés • Análisis del sistema • Evaluación mediante indicadores

	• Elección de la alternativa de gestión 2.- El análisis considera las siguientes 3 dimensiones; ambiental, social y económico. Lo que permite evaluar de forma integral la reutilización del agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: El artículo orienta la investigación hacia la necesidad de integrar evaluaciones de riesgo y sostenibilidad en la gestión del agua, particularmente en situaciones de escasez hídrica. **Avalar**: Avala la importancia de la reutilización del agua como estrategia para enfrentar la escasez hídrica, respaldando la necesidad de herramientas analíticas que permitan evaluar de manera conjunta los riesgos y los impactos de las medidas de gestión del agua. **Complementar**: el modelo integra la evaluación de riesgos con la evaluación de sostenibilidad para analizar la gestión del agua. **Definir**: el documento define el Integrated Risk and Sustainability Assessment (RSA) Framework, un marco de apoyo a la toma de decisiones enfocado en las 3 dimensiones; social, económica y ambiental.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 4. Representation of the 'water scarcity – water reuse' situation as a simplified CHANS. The upper section presents the relevant elements and water flows r to the natural and human biophysical aspects. The lower section includes the immaterial aspects of the human sub-system related to water management.

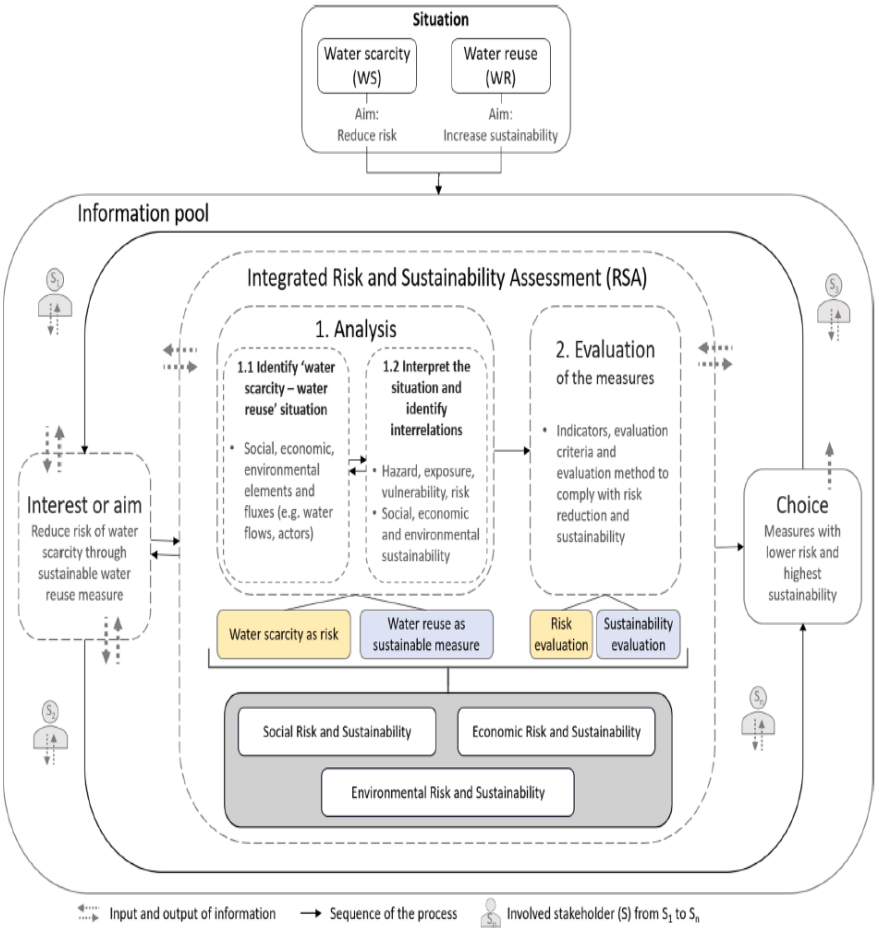


Fig. 7. Integrated risk and sustainability assessment (RSA) Framework for decision support.

LECTURA 22	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Reliability Engineering & System Safety", Volumen 216, diciembre 2021. "A decision support system to design water supply and sewer pipes replacement intervention programs"*
Palabras claves:	• Sistema de distribución de agua y alcantarillado • Sustitución de tuberías • Agrupación • Celdas de Voronoi • Optimización multiobjetivo

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1.- “Nuestra metodología presenta un enfoque técnico y operativo que agrupa los elementos de la red según sus necesidades de reemplazo. En otras palabras, si se debe reemplazar una tubería deteriorada, se deben considerar simultáneamente otras tuberías adyacentes que, si bien aún no requieren un reemplazo urgente, sí lo requerirán en el futuro.” 1.- “Las empresas de suministro de agua no suelen planificar ni realizar actividades de sustitución en elementos individuales, sino en agrupaciones viables y coherentes de tuberías vecinas.” 1.- “Las compañías de agua generalmente carecen de una metodología flexible y versátil que les ayude a planificar programas de intervención integrando estos factores externos.” 2.- En el artículo se propone el Decision Support System (DSS) el cual utiliza un algoritmo de agrupamiento en dos etapas para diseñar programas de reemplazo de tuberías en redes de agua potable y alcantarillado. El objetivo es generar intervenciones que sean operativamente viables y eficientes.” 2.- La primera etapa consiste utilizar una estructura espacial basada en celdas tipo Voronoi. Estas celdas representan áreas geográficas donde se agrupan las tuberías que se encuentran en un mismo tramo de calle o en zonas cercanas, Cada celda contiene información sobre el estado de las tuberías que la componen, como: • probabilidad de falla • caudal de fuga o evacuación • demanda o importancia del servicio • relevancia del activo dentro de la red 2.- La segunda etapa consiste en un proceso de agrupamiento dinámico para reorganizar las configuraciones iniciales. En esta fase se analizan las celdas vecinas para identificar si es conveniente incorporar tuberías adicionales al mismo proyecto de reemplazo.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: orienta la investigación hacia la necesidad de desarrollar herramientas que apoyen la toma de decisiones para la gestión y renovación de tuberías en redes de agua potable y alcantarillado. **Avalar**: se plantea la idea de que la planificación del reemplazo de tuberías debe realizarse a nivel de grupos y no de manera aislada por tubería, de igual manera que lo realizan las empresas sanitarias, las que ejecutan intervenciones considerando tramos de calles o sectores completos para optimizar costos y reducir impactos en la ciudad. **Complementar**: Se utilizan investigaciones previas sobre priorización de tuberías basada en riesgo o probabilidad de falla, incorporando un

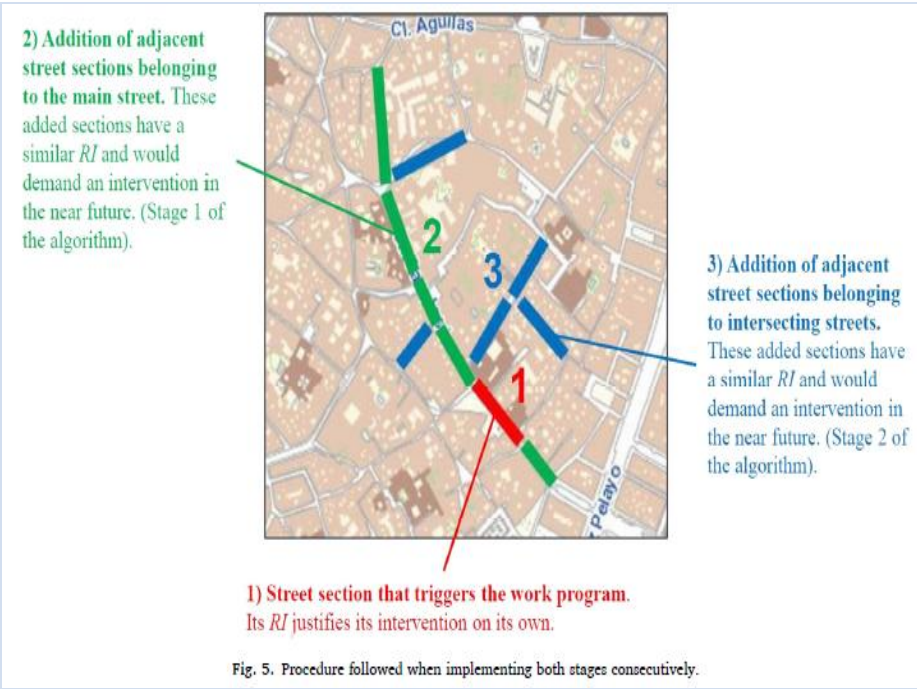
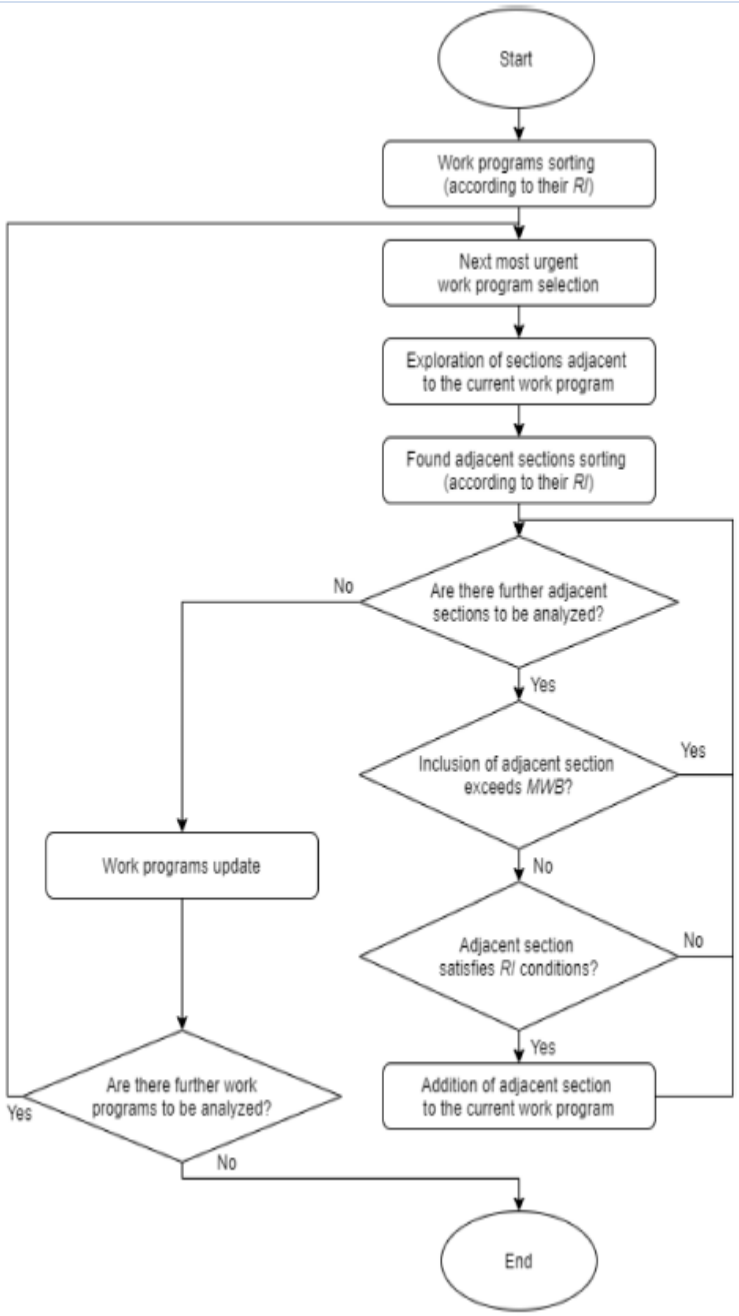
	enfoque adicional que permite agrupar tuberías cercanas y generar programas de intervención más realistas desde el punto de vista operativo. **Definir**: la publicación define un marco metodológico para el diseño de programas de reemplazo de tuberías, basado en un Decision Support System (DSS) que integra: • evaluación de riesgo de las tuberías • agrupamiento espacial de infraestructura • optimización multiobjetivo mediante algoritmos genéticos.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 5. Procedure followed when implementing both stages consecutively.



Fig. 9. EMASESA network characterization according to its replacement priority (*RI*).



Flowchart 1. First stage of the algorithm, involving the distribution of all the sections belonging to the same street into viable works.



Flowchart 2. Second stage of the algorithm, involving the expansion of the resulting works by incorporating intersecting street sections.

LECTURA 23	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Automation in Construction", Volumen 89, mayo 2018. "An integrated visualization framework to support whole-process management of water pipeline safety"*
Palabras claves:	• Proyectos de desvío de agua • Evaluación del estado estructural • Gestión de la seguridad • Gestión integral del proceso • Visualización
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Es fundamental evaluar el estado estructural de las tuberías de manera oportuna y tomar medidas inmediatas para gestionar situaciones de emergencia. Se han desarrollado instrumentos para monitorear el estado estructural de las tuberías de desviación de agua [2–4], pero el sistema de información para la gestión (SIG) y las prácticas de gestión de la seguridad aún son insuficientes para lograr una evaluación automática del estado y una respuesta oportuna ante emergencias." 1.- "Este artículo presenta un marco de visualización integrado para apoyar la gestión de la seguridad de las tuberías de desviación de agua. Este marco integral optimiza la recopilación y el análisis de datos, la emisión de alertas y el apoyo a la toma de decisiones en una plataforma integrada, lo que mejora el nivel de automatización de la gestión de la seguridad y la eficiencia de la respuesta ante emergencias." 1.- "Cuando el riesgo de un segmento de oleoducto alcance cierto nivel, se emitirán alertas en tiempo real automáticamente mediante mensajes telefónicos y correos electrónicos para garantizar que los ingenieros y profesionales las reciban de manera oportuna." 2.- El framework propuesto se estructura en cuatro subsistemas principales que cubren todo el proceso de gestión de seguridad: • SDAS – Safety Data Acquisition System: Sistema encargado de recopilar datos de monitoreo estructural. • S2AS – Safety Analysis and Assessment System: Sistema que analiza los datos mediante técnicas de minería de datos. • SAWS – Simulation and Warning System: Sistema que genera alertas y permite realizar simulaciones. • 3DMS – 3D Visualized Management System: Sistema de visualización 3D basado en GIS que permite localizar y analizar problemas.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: orienta el desarrollo de sistemas de apoyo a la gestión de infraestructura hidráulica, mostrando cómo integrar monitoreo, análisis de datos y visualización geoespacial para mejorar la gestión en tiempo real de las tuberías. Proporciona un enfoque conceptual para estructurar plataformas de gestión de riesgos en redes de agua. **Avalar**: el artículo plantea la importancia de integrar información de monitoreo y análisis dentro de sistemas de gestión, demostrando que la fragmentación de los procesos de monitoreo, análisis y toma de decisiones puede generar retrasos en la detección de fallas. **Complementar**: Se utilizan investigaciones sobre gestión de infraestructura hidráulica, incorporando herramientas tecnológicas como: • análisis de datos • monitoreo estructural • visualización 3D • sistemas GIS. **Definir**: la publicación define una arquitectura metodológica para la gestión de seguridad en tuberías, basada en cuatro subsistemas principales: • adquisición de datos (SDAS) • análisis y evaluación de seguridad (S2AS) • simulación y emisión de alertas (SAWS) • visualización y gestión 3D (3DMS). **Otros aportes:** Entre los aportes adicionales destaca la aplicación de visualización tridimensional para la gestión de infraestructura hidráulica y la integración de monitoreo en tiempo real con sistemas de alerta desarrollo de herramientas de apoyo a decisiones basadas en datos.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

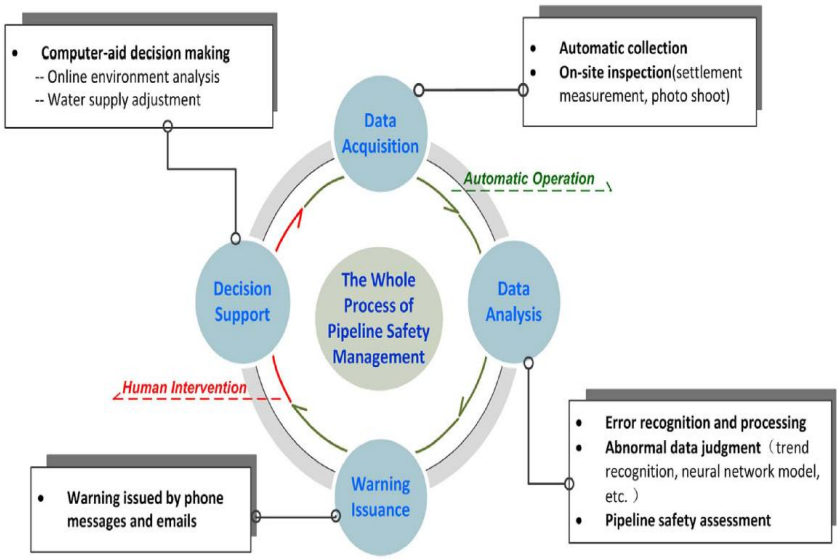


Fig. 1. Flowchart of whole-process pipeline safety management.

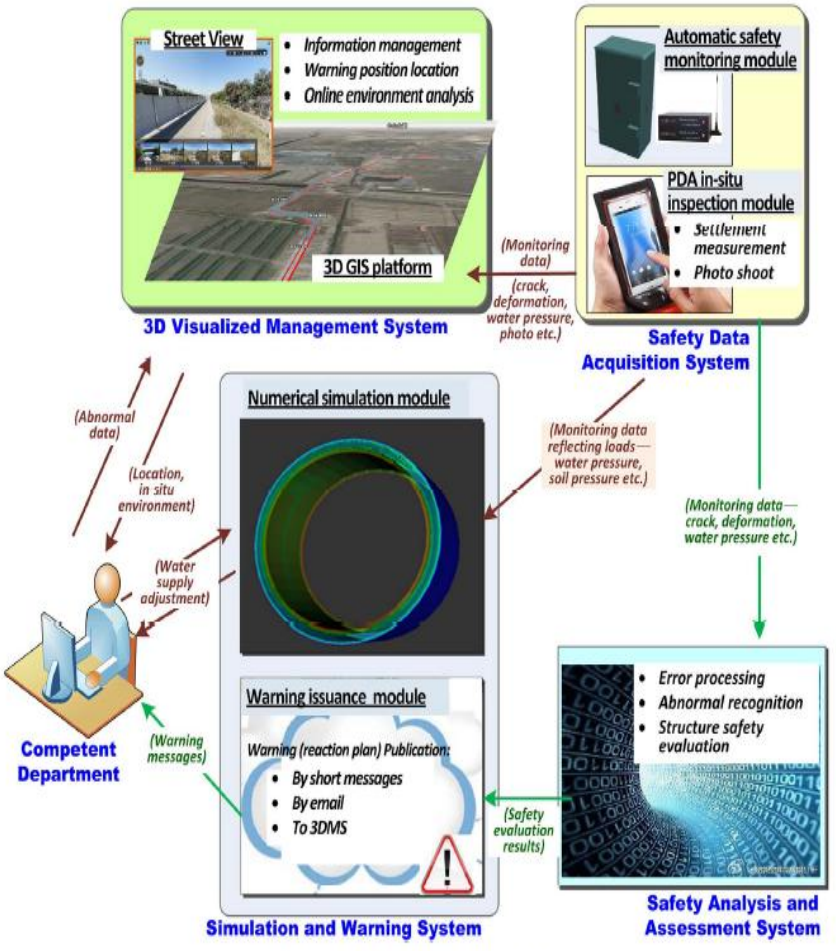


Fig. 2. Architecture of the proposed framework.

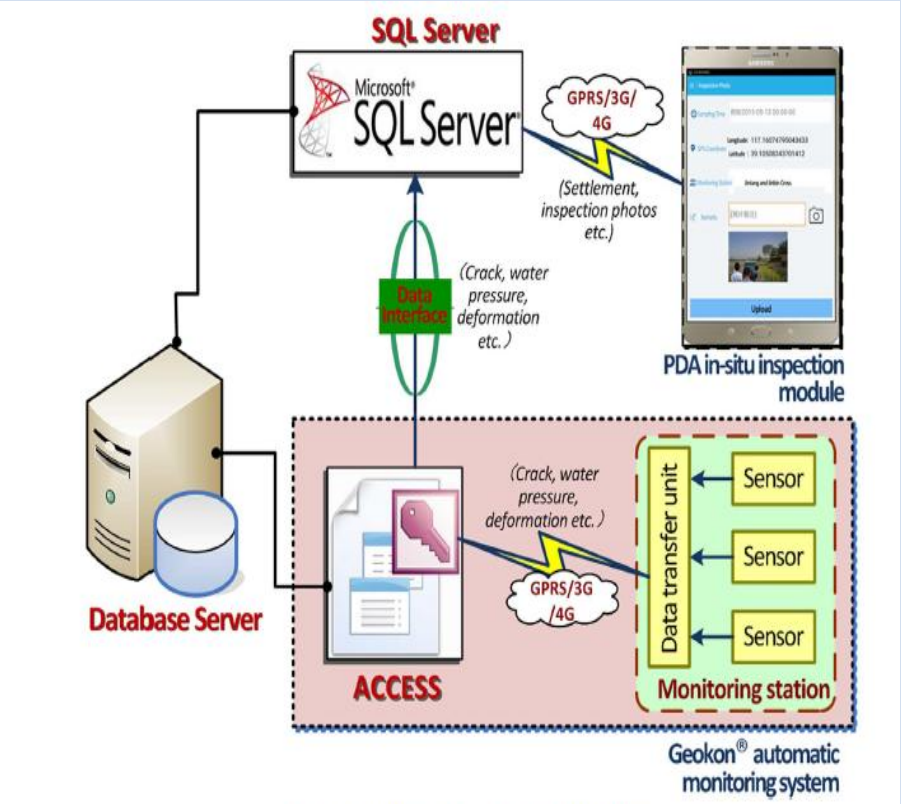


Fig. 3. Technical route of safety monitoring data integration.

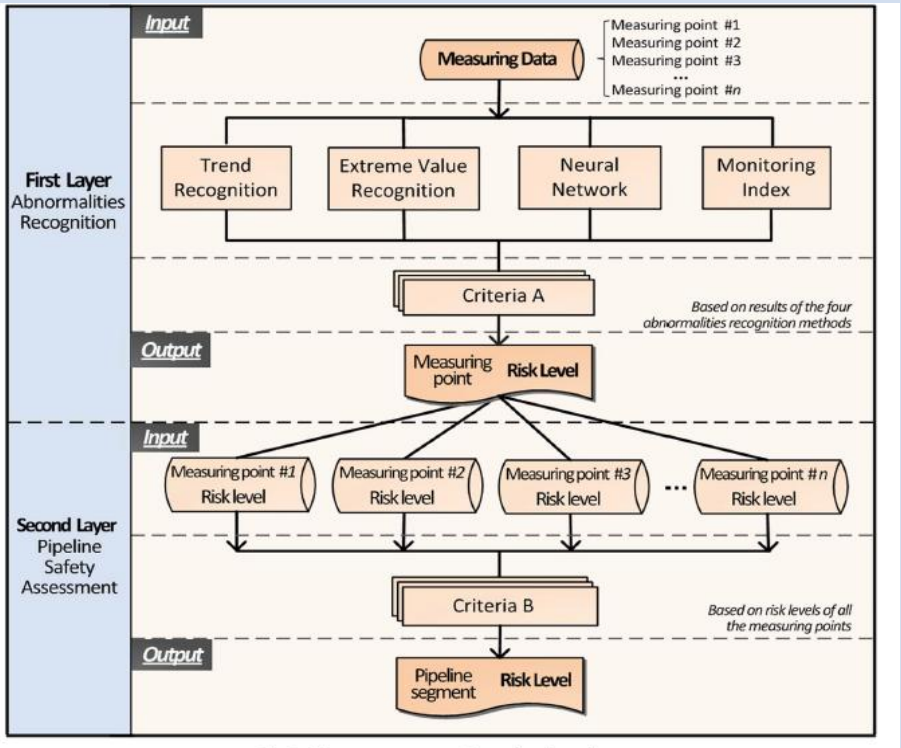


Fig. 4. Safety assessment system of water diversion projects.



Fig. 9. (a) Warning massage on mobile phone; (b) Warning issuance on 3D GIS platform; (c) Surrounding environment of one warning position.

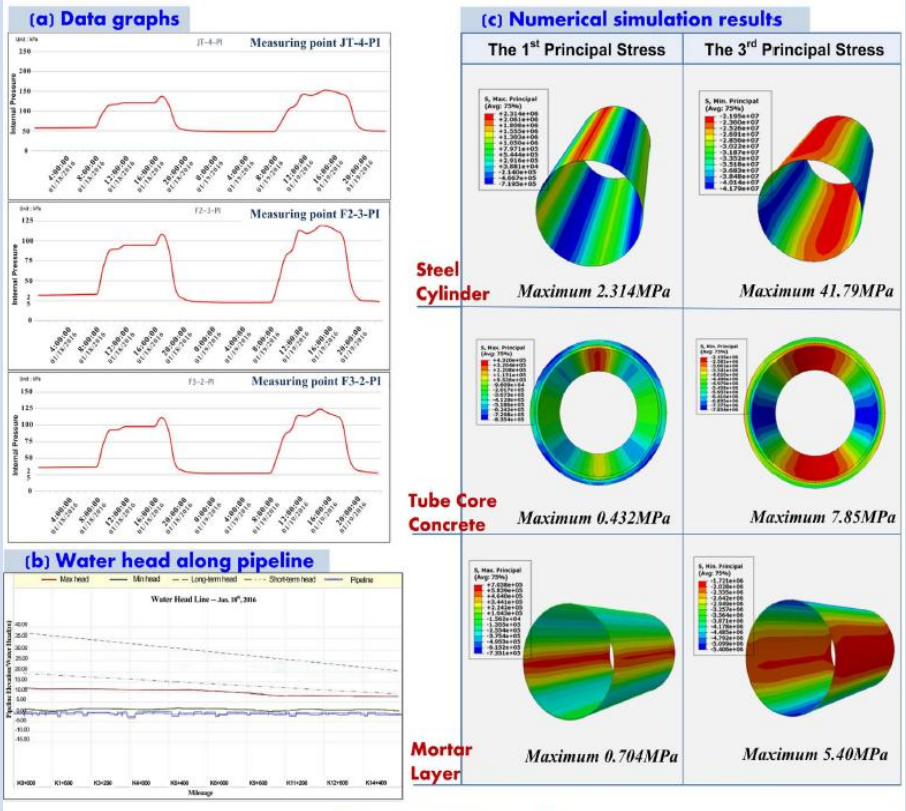
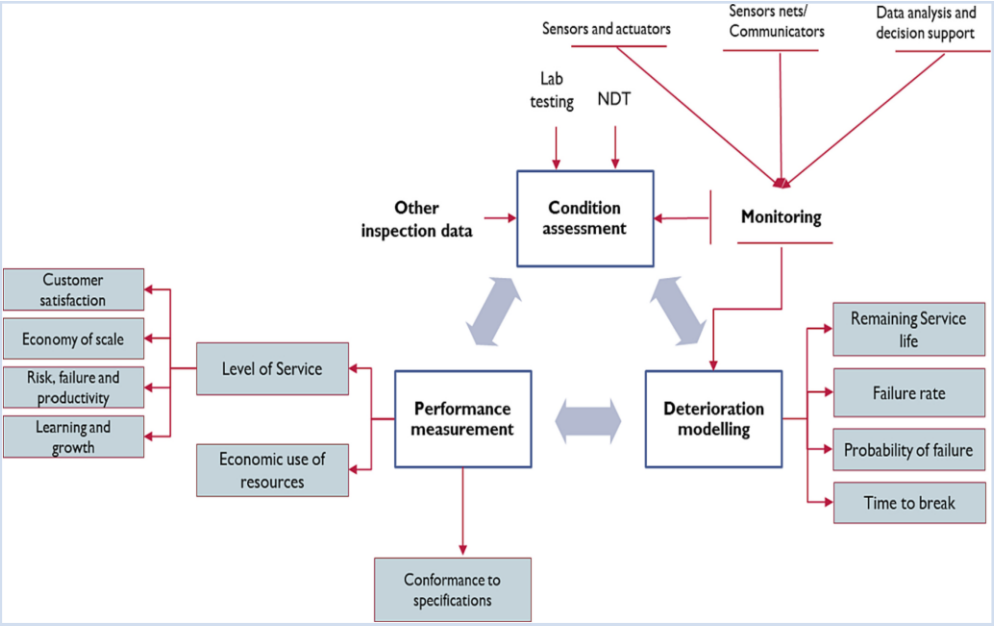


Fig. 10. Safety analysis during trial operation.

LECTURA 24	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Shaban, I. A., Eltoukhy, A. E. E., & *Systematic and scientometric analyses of predictors for modellin* Automation in Construction, 149, 104710.
Palabras claves:	• Deterioro de tuberías • Redes de distribución de agua • Modelación del deterioro • Desempeño de tuberías • Predictores de deterioro • Gestión de infraestructura • Fallas de tuberías.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 11. **Redacciones propias**	1.- “El deterioro de las tuberías de agua es una progresión de degradación acumulada que e hidráulicas.” 1.- “La evaluación continua de la condición de las redes de distribución de agua es necesa útil restante.” 1.- “Los predictores utilizados en la modelación del deterioro pueden agruparse en factore y la corrosión, factores operacionales y factores ambientales.” 2.- El artículo realiza una revisión sistemática y cientométrica de los factores utilizados en l de agua. Identifica los principales predictores que influyen en el deterioro de las redes de categorías: factores propios de la tubería, factores asociados al suelo y la corrosió ambientales. El estudio también analiza tendencias de investigación, modelos utilizados probabilísticos e inteligencia artificial) y propone líneas futuras de investigación para mejor de agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** entrega un marco conceptual sobre los factores que influyen en el deterioro de **Avalar:** respalda científicamente el uso de variables como edad, material, diámetro y deterioro. **Complementar:** aporta bases para construir modelos de evaluación del estado de colect **Definir:** clasifica los predictores del deterioro en categorías técnicas claras. **Contrapropuesta:** identifica vacíos de investigación y propone nuevas líneas de estudio. **Otros aportes:** su análisis cientométrico permite identificar tendencias y evolución d hidráulica.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 25	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Tunnelling and Underground Space Technology", Volumen 39, enero 2014. "A pilot study for retrospective evaluation of cured-in-place pipe (CIPP) rehabilitation of municipal gravity sewers"*
Palabras claves:	• CIPP • Rehabilitación • Alcantarillado • Pruebas • Evaluación • Deterioro • Control de calidad • Evaluación
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Las tecnologías de rehabilitación y reemplazo de tuberías sin zanja han experimentado un uso cada vez mayor en los últimos 30 a 40 años y representan una proporción creciente de los aproximadamente 25 mil millones de dólares anuales destinados a la operación y el mantenimiento de la infraestructura de agua y aguas residuales del país." 1.- "Estos métodos de rehabilitación, aplicados a las tuberías principales de alcantarillado, incluyen el uso de CIPP, revestimientos ajustados, inyección de lechada in situ, revestimientos en espiral, revestimientos de paneles, revestimientos aplicados por pulverización o centrifugación e inyección química en la reparación de tuberías".

	1.- “El propósito de la obtención de muestras destructivas es obtener un conocimiento detallado del rendimiento del revestimiento en sitios seleccionados.” 2.- El estudio utilizó una metodología estructurada para evaluar el desempeño de los revestimientos CIPP instalados en sistemas de alcantarillado. La investigación se organizó en varias etapas; desarrollo de un protocolo de evaluación, selección de las ciudades a evaluar, extracción de muestras y evaluaciones de resultados e inspección. 2.- Para la evaluación de las muestras se realizaron pruebas de laboratorio, como pruebas estructurales, pruebas físicas, y del estado de su materialidad.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: ayuda a la toma de decisiones en la gestión de infraestructura de alcantarillado, ya que proporciona información sobre el desempeño real de los revestimientos CIPP después de varios años de uso. Esto ayuda a las empresas sanitarias a decidir si es conveniente continuar utilizando esta tecnología en lugar de reemplazar completamente las tuberías. **Avalar**: el artículo confirma la eficacia y durabilidad de la tecnología CIPP, ya que los resultados muestran que los revestimientos analizados se encuentran en buenas condiciones incluso después de más de 20 años de servicio. **Complementar**: La investigación complementa el conocimiento existente sobre tecnologías de rehabilitación de tuberías, aportando datos empíricos obtenidos mediante: o inspecciones de campo o extracción de muestras o pruebas de laboratorio **Definir**: se desarrolla un protocolo metodológico para la evaluación retrospectiva de tuberías rehabilitadas. Este protocolo establece procedimientos para: o inspección o clasificación de defectos o recolección de muestras o pruebas estructurales y de materiales.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros



Fig. 1. Retrieval of field sample of 8-in. clay host pipe and liner in Denver.



Fig. 4. View of liner within 8-in. clay host pipe in Columbus.



Fig. 2. View of liner within 8-in. clay host pipe in Denver.



Fig. 5. View of in situ liner and sample retrieval for Columbus 36-in. liner.

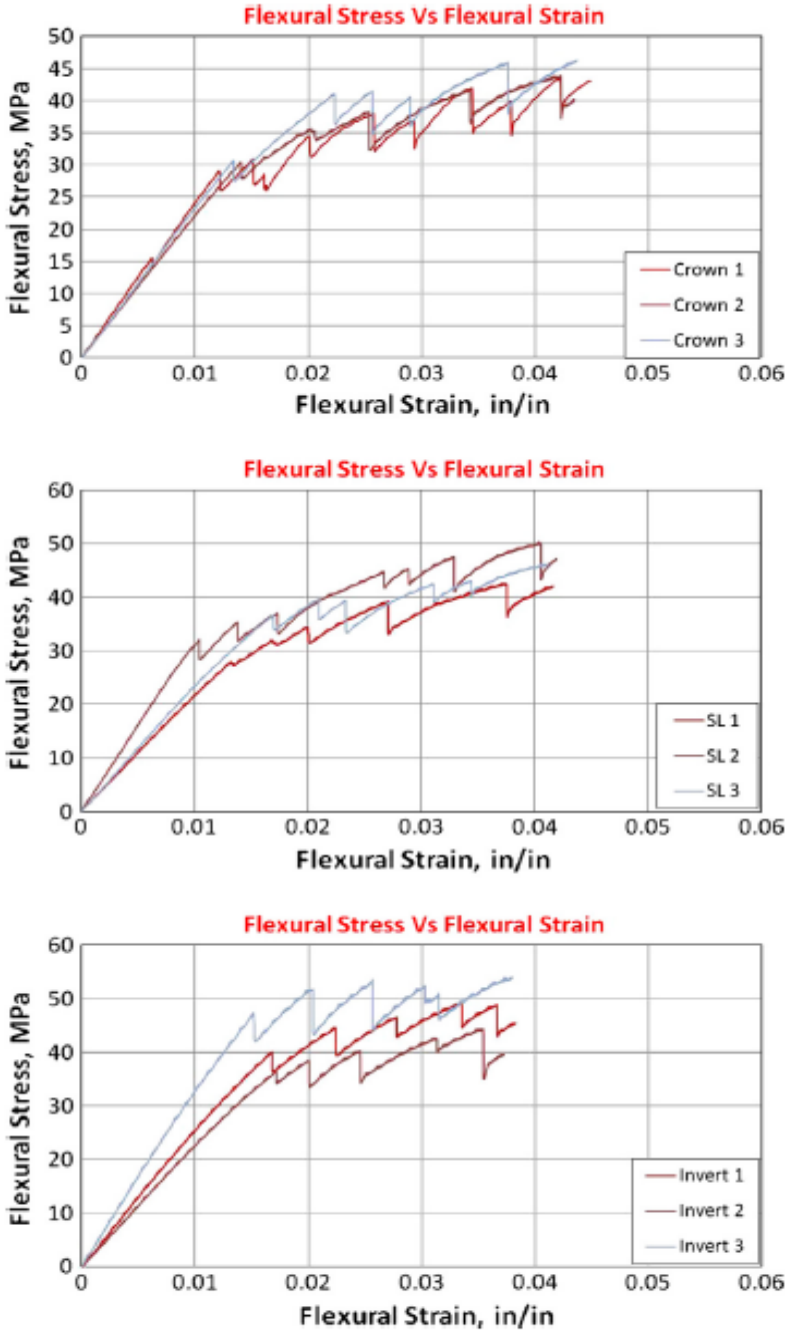


Fig. 6. Flexural stress vs. flexural strain for crown, springline and invert samples for the Denver 8-in liner.

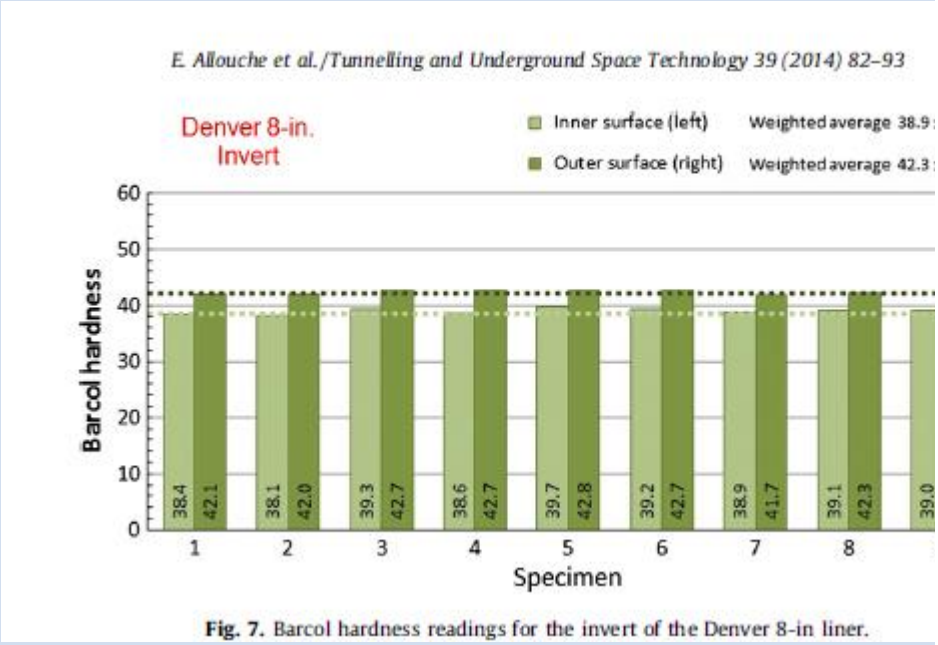


Fig. 7. Barcol hardness readings for the invert of the Denver 8-in liner.

LECTURA 26	**TIPO de lectura: Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*MethodsX", Volumen 11, diciembre 2023. "A review of _urban water networks management using GIS"*
Palabras claves:	• GIS • Proyecto • Gestión de la construcción • Análisis de inundaciones • Operaciones hidráulicas • Datos espaciales • Datos no espaciales • Análisis espacial • Simulación hidráulica • Optimización de redes de tuberías
Conceptos y/o Ideas fundamentales:	1.- "La tecnología GIS tiene básicamente 3 modelos de datos para representar entidades del mundo real, es decir, el punto, la línea y el polígono. Estos datos se recopilan a partir de estudios de campo o se generan utilizando imágenes satelitales de teledetección mediante el método de digitalización [1]. Estos datos se pueden representar en un

1.“Citas textuales” **2. Redacciones propias**	sistema de proyección con referencias geográficas adecuadas.” 2.- la plataforma GIS se utiliza en múltiples áreas dentro de la planificación urbana y la construcción, como, por ejemplo: • planificación de ciudades y campus • modelación de inundaciones • gestión de seguridad en construcción • gestión de redes de agua y alcantarillado 1.- “Un proyecto GIS tendrá varios componentes, como se muestra en la Fig. 1. Varios proyectos pueden utilizar SIG para la gestión de proyectos, como el monitoreo y la gestión de servicios públicos, la gestión de la construcción, etc” 1.- “Un proyecto basado en SIG es diferente de la gestión de proyectos que utiliza SIG. Un proyecto SIG se trata de utilizar la tecnología en el proyecto definido para lograr una solución o un resultado.” 2.- Uno de los principales enfoques del artículo es la gestión de redes de agua potable y alcantarillado, que incluye: • planificación del sistema • diseño de tuberías • construcción • operación y mantenimiento 1.- “Hay muchos modelos disponibles en el mercado para modelado hidráulico, puede ser software de código abierto o propietario por ejemplo: QGIS basado en PostgreSQL ArcGIS usando SQL etc. [Pablo Fernández et al. 2020]. El software de modelado hidráulico como EPA SWMM, EPANET, HEC RAS, HEC GeoRAS etc. se puede integrar con GIS” 2.- El uso de GIS permite visualizar y gestionar toda la red, facilitando la detección de fallas y la planificación de reparaciones. Además, al integrarse con sistemas de monitoreo como SCADA, se pueden recibir datos en tiempo real sobre presión, flujo y posibles problemas en las tuberías, mejorando la gestión del sistema.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: enfoca el uso de los sistemas GIS para mejorar la planificación, monitoreo y mantenimiento de las redes urbanas de agua. **Avalar**: respalda el uso de tecnologías como GIS y sistemas de simulación hidráulica para la gestión eficiente de las redes de agua potable y alcantarillado. **Complementar**: complementar los métodos tradicionales de gestión de redes de agua mediante herramientas de análisis espacial, modelación y visualización de datos en tiempo real. **Definir**: define los procesos y etapas en los que el GIS puede aplicarse dentro de la planificación, diseño, operación y mantenimiento de las redes de distribución de agua. **Contrapropuesta:** proponer el uso de sistemas integrados (GIS, sensores y modelación hidráulica) como alternativa a los métodos manuales o aislados de gestión de redes.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

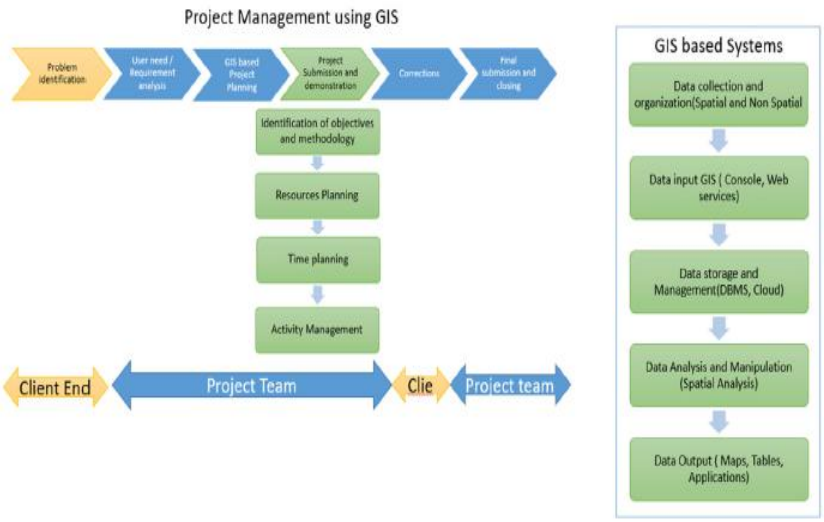


Fig. 1. Components of GIS project.

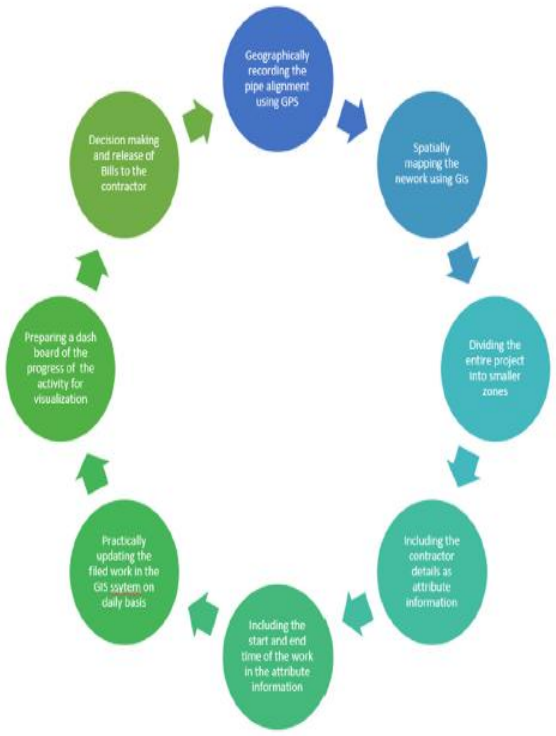


Fig. 2. Project management using GIS technology.

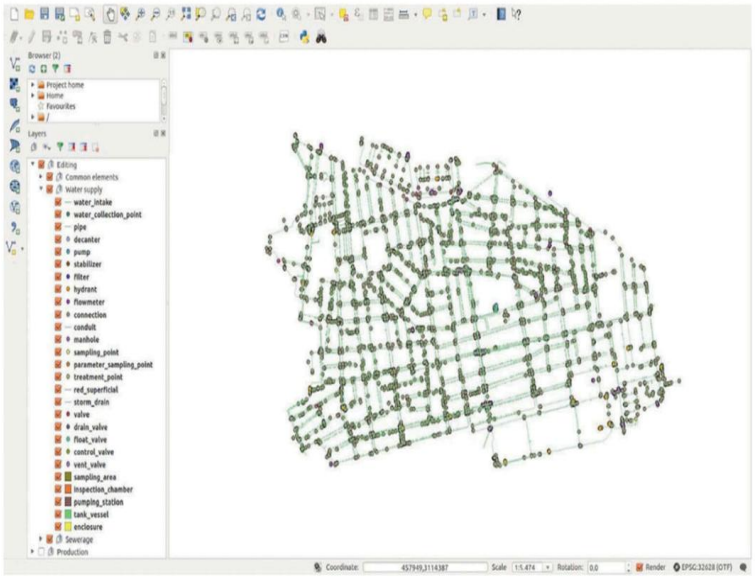


Fig. 4. Map showing Sample pipe line network in GIS. *Source*: Abdulla Al-Rawabdeh GIS-based solution for urban water management GIS-based solution for urban water management.

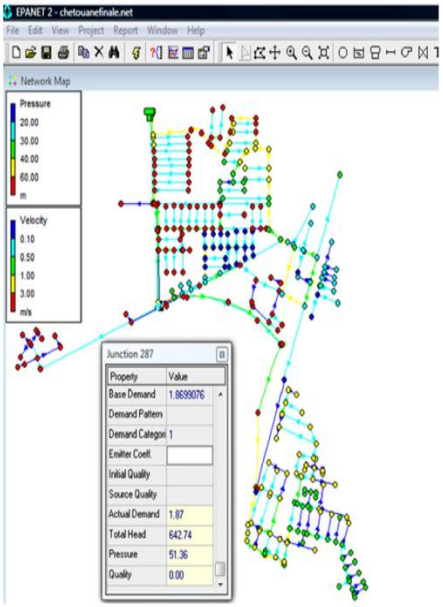
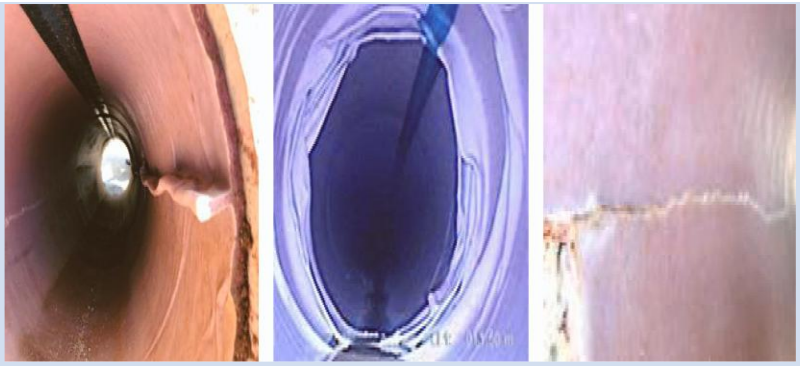
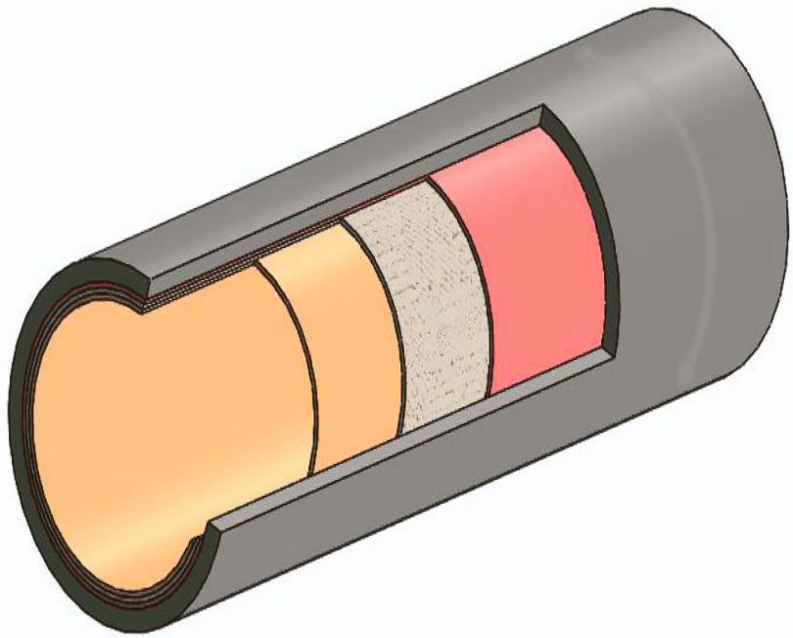


Fig. 7. Pipe network information system of EPANET. *Source*: Chefifa Abdelbaki:Appl water Sci:Management of a water distribution network by coupling GIS and hydraulic modelling: a case study of Chetouane in Algeria.

LECTURA 27	TIPO de lectura: Específica
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico sobre modelación de deterioro y gestión de activos en redes de tuberías de agua y alcantarillado**,** enfocado en la predicción de fallas y planificación de mantenimiento en infraestructuras hidráulicas urbanas.
Palabras claves:	• Gestión de activos • Deterioro de tuberías • Redes de agua y alcantarillado • Predicción de fallas • Mantenimiento de infraestructura • Modelación de deterioro • Gestión de redes.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 12. **Redacciones propias**	1.- “Las redes de tuberías de agua y alcantarillado constituyen infraestructuras críticas que requieren estrategias adecuadas de gestión y mantenimiento para asegurar su funcionamiento en el largo plazo.” 1.- “La predicción del deterioro de tuberías permite optimizar la planificación de intervenciones y reducir los costos asociados a fallas inesperadas.” 1.- “Los modelos de deterioro consideran variables como edad de la tubería, material, condiciones del suelo, presión y condiciones operativas.” 2.- El artículo analiza diferentes enfoques utilizados para modelar el deterioro de redes de tuberías, destacando la importancia de incorporar variables estructurales, operacionales y ambientales en la predicción de fallas. Se presentan distintos métodos de modelación utilizados en la literatura, incluyendo enfoques estadísticos, probabilísticos y basados en datos. El estudio resalta que la incorporación de modelos predictivos en la gestión de activos permite mejorar la planificación del mantenimiento, reducir riesgos operacionales y optimizar la asignación de recursos en sistemas de agua y saneamiento.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** entrega fundamentos técnicos sobre el deterioro de redes y su modelación. **Avalar:** respalda el uso de variables técnicas en la evaluación de condición de tuberías. **Complementar:** aporta herramientas para la predicción de fallas en redes de saneamiento. **Definir:** clarifica el concepto de deterioro de tuberías y su relación con la gestión de activos. **Contrapropuesta:** identifica limitaciones de modelos tradicionales y propone mejoras en los enfoques de análisis. **Otros aportes:** refuerza la importancia del monitoreo y análisis de datos en la gestión de infraestructura.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 **Fig. 1.** Example of defects resulting from improper CIPP installation. a) Longitudinal wrinkle. b) Hoop wrinkles. c) Longitudinal crack.

	 **Fig. 2.** Representation of a pipeline rehabilitated using CIPP.

LECTURA 28	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Water Research", Volumen 278, junio 2075. "Real-Time detection of sewer water levels and blockages using UHF-RFID sensors"*
Palabras claves:	• Monitoreo de alcantarillado • Sensores UHF-RFID • Detección de obstrucciones • Entrada e infiltración • Medición del nivel del agua • Velocidades de flujo
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Las tecnologías tradicionales, como las pruebas de humo, las pruebas de tinte, las cámaras de circuito cerrado de televisión, las cámaras infrarrojas, la detección de temperatura distribuida por fibra óptica, los ultrasonidos y el radar, suelen conllevar costes sustanciales, un rendimiento limitado y exigencias de tiempo considerables, lo que reduce su asequibilidad y frecuencia de uso a gran escala. En consecuencia, el sector se enfrenta a una demanda urgente de tecnologías asequibles e innovadoras que permitan evaluaciones continuas y exhaustivas del estado de las alcantarillas." 1.- "Este estudio aborda estos desafíos mediante la introducción de sistemas de sensores basados en UHF-RFID (865–928 MHz), que

	ofrecen un enfoque novedoso para el monitoreo continuo y en tiempo real de los sistemas de alcantarillado." 1.- "los resultados experimentales (Figs. 10A–B) demostraron que los sensores UHF-RFID podrían utilizarse para cuantificar variaciones de flujo, como el flujo en tiempo húmedo (WWF) y el flujo en tiempo seco (DWF), y predecir la infiltración/infiltración derivada de la lluvia (RDII) en las tuberías de alcantarillado como método de cribado inicial." 2.- Se propone utilizar sensores RFID pasivos de ultra alta frecuencia (UHF-RFID) para medir variables hidráulicas dentro de las tuberías, considerando aspectos como el nivel de agua, la velocidad del flujo, presencia de obstrucciones y cambios en el comportamiento hidráulico. 2.- El sistema permite detectar obstrucciones en tuberías analizando las diferencias de velocidad del flujo entre dos puntos del sistema, esto considerando que cuando existe una obstrucción, es posible observar una disminución en la velocidad del flujo, se detectan diferencias hidráulicas entre aguas arriba y aguas abajo y aumentan los niveles de escurrimiento del agua.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: orienta la investigación hacia el desarrollo de sistemas inteligentes de monitoreo continuo, en lugar de depender exclusivamente de inspecciones periódicas tradicionales **Avalar**: respalda la idea de que el monitoreo permanente del comportamiento hidráulico de las redes permite detectar tempranamente problemas operacionales, tales como obstrucciones, variaciones anómalas de caudal y/o infiltraciones en la red. **Complementar**: el artículo complementa las metodologías tradicionales de diagnóstico de redes sanitarias, tales como: inspección televisiva de colectores, monitoreo puntual de caudales e inspecciones manuales. **Definir**: define una arquitectura tecnológica para monitoreo de redes de alcantarillado basada en sensores UHF-RFID **Otros aportes:** se destaca el desarrollo de un sensor RFID tipo "regla" para medición de nivel de agua también se puede considerar la demostración experimental de alta precisión de medición (del orden de milímetros) conjunto con la posibilidad de localizar tramos con obstrucciones mediante análisis de velocidad del flujo.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

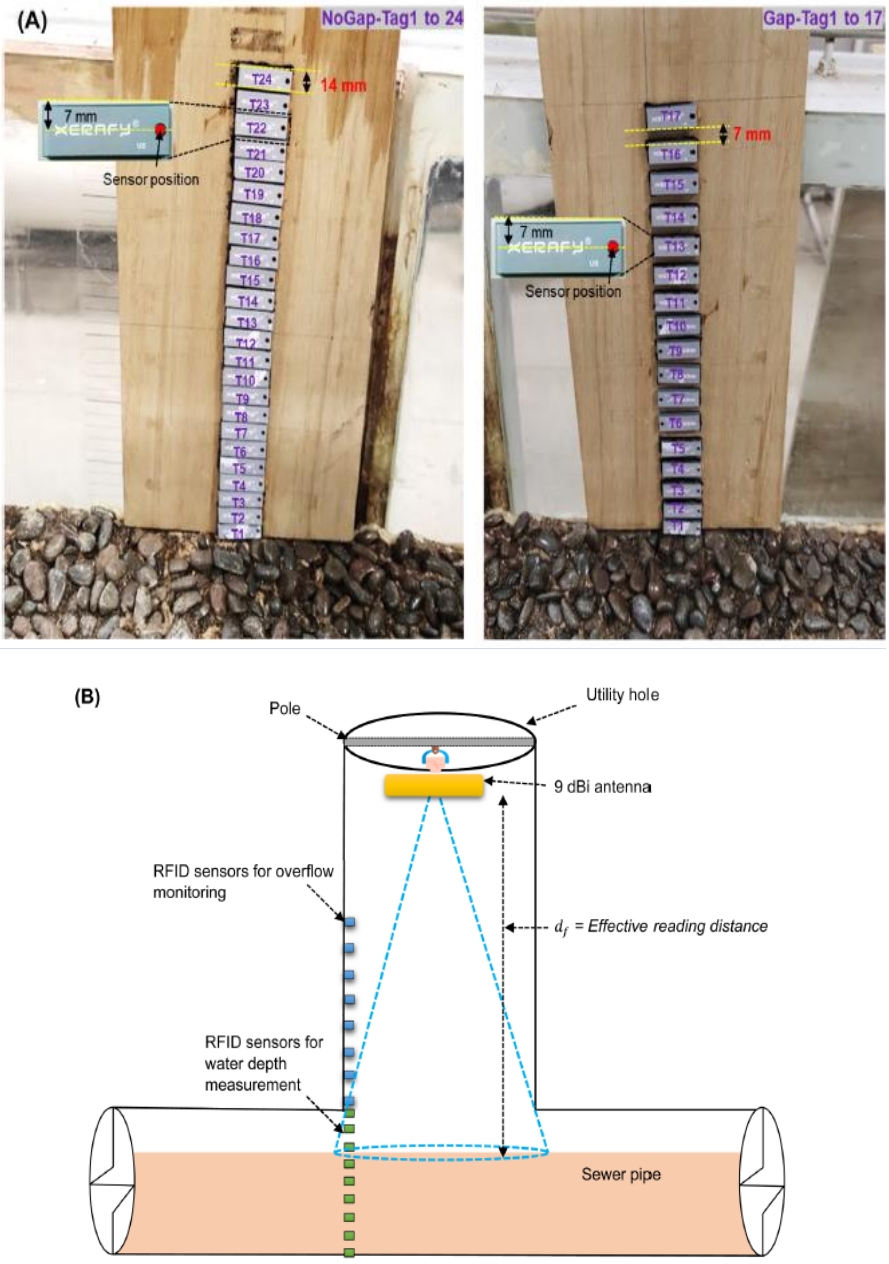
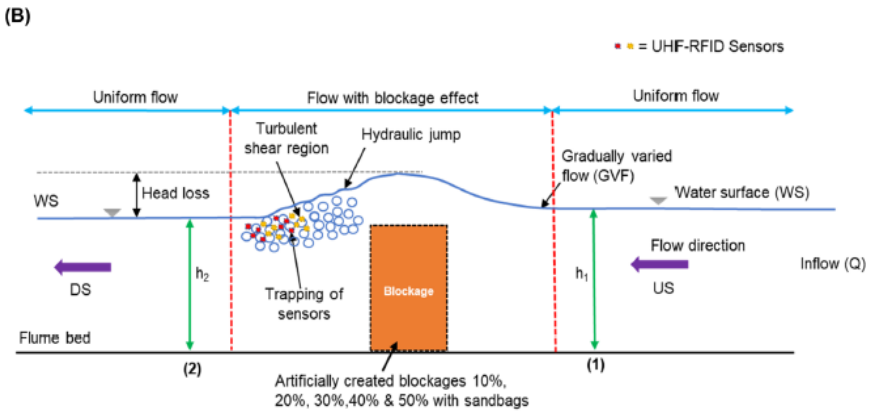


Fig. 1. Water level measurement using UHF-RFID sensors and experimental setup in a flume. (A) The UHF-RFID sensor's performance was measured. Left: Sensc positions were placed continuously without any gap, designated with the label NoGap-Tag1 to 24. Right: Sensor positions were aligned with a 7 mm gap betwee each sensor, designated with the label Gap-Tag1 to 17. (B) Schematic diagram of RFID sensors application in sewer utility holes for flow measurements and overflo monitoring. Note. Figures not drawn to scale.



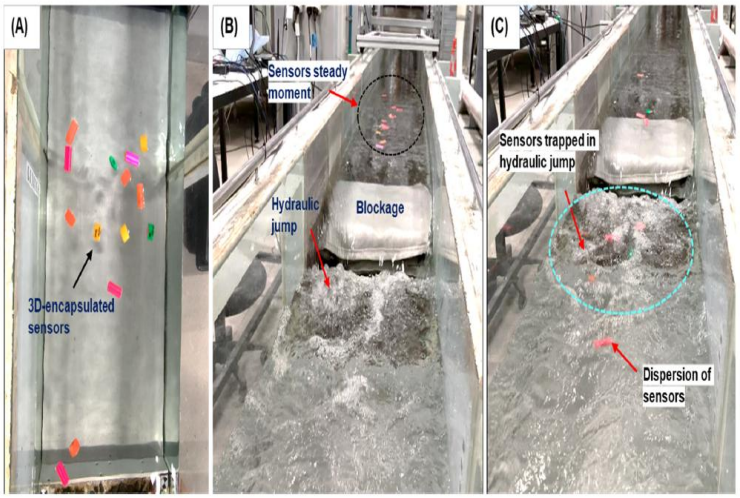


Fig. 7. RFID sensors moment in the flume. (A) No-blockage condition is a typical moment of RFID sensors without dispersion. Blockage scenario, (B) The increased blockage size caused the water level in the upstream side (US) of blockage, which caused the reduced velocities, and (C) The reduced water level after the blockage in the DS caused increased velocities and strong turbulence. The bubbly flow caused the trapping of sensors on the downstream side after the blockage. Note: Figures are not drawn to scale.

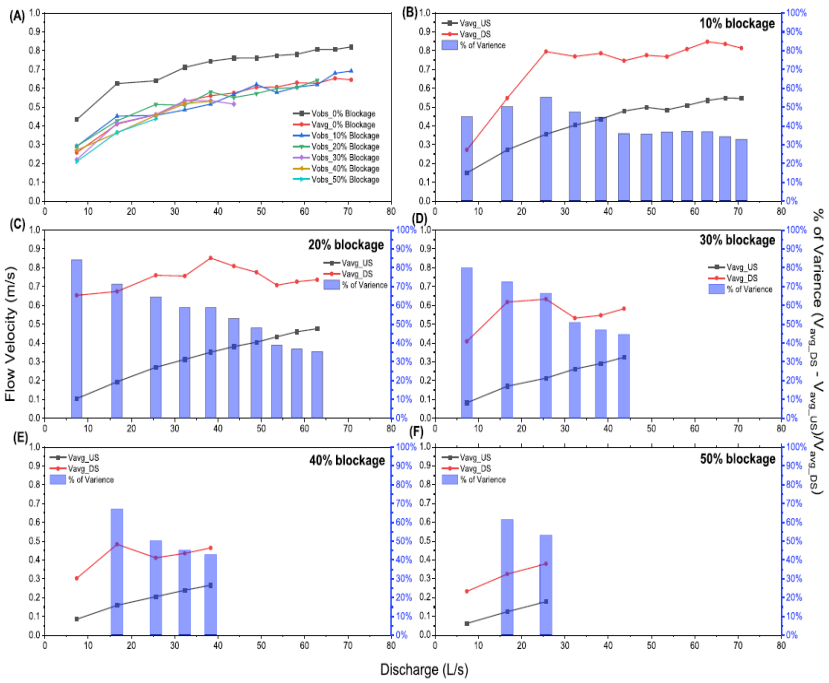


Fig. 9. Blockage detection through RFID sensors from 13.5 m from the outlet downstream in the flume. (A) V_{obs} and V_{avg} velocities with and without the presence of blockages. Variations in V_{avg} flow velocities variations in US and DS sections of the flume. (B) 10 % blockage. (C) 20 % blockage. (D) 30 % blockage. (E) 40 % blockage, and (F) 50 % blockage. Note: Hydraulic data was measured immediately upstream (location 1) of the blockage and downstream (location 2) at induced blockages. V_{obs} is observed surface flow velocity that is predicted from UHF-RFID sensors, which is the sensors time travel difference between the upstream (US) and downstream (DS) antenna. V_{avg1}, and V_{avg2} are mean flow velocities were measured based on water depth in the US and DS side of blockages and flow meter values.

LECTURA 29	**TIPO de lectura: Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	OPTIMIZING OPERATION, MAINTENANCE, AND REHABILITATION OF SANITARY SEWER COLLECTION SYSTEMSO 2003 EPA
Palabras claves:	• Operación • Mantenimiento correctivo • Mantenimiento Preventivo • Mantenimiento Predictivo, • Rehabilitación • Redes de Recolección • Gestión de Activos.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”**	2.- De acuerdo a lo indicado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), en ese país existen aproximadamente 20.000 sistemas de recolección de aguas servidas, cuyo valor de reposición se estima entre 2 y 3 billones de dólares. En conjunto, los sistemas de recolección y tratamiento representan entre el 10% y el 15% del valor total de la infraestructura sanitaria. Sin embargo, a pesar de la importancia de estos sistemas, en muchos casos no se dispone de un

13. **Redacciones propias**	conocimiento completo de los activos que componen las redes de recolección, lo que dificulta su adecuada gestión y planificación. Además, los programas de operación y mantenimiento de las redes de alcantarillado suelen recibir menor atención y prioridad en comparación con otros componentes del sistema sanitario, como las plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS). Esta situación puede generar diversos problemas operacionales que afectan tanto al medio ambiente como a la salud pública. Uno de los más relevantes son los desbordes de alcantarillado sanitario (Sanitary Sewer Overflows, SSO), eventos que ocurren cuando el sistema no logra transportar adecuadamente las aguas servidas. De acuerdo con la EPA, hacia el año 1999 se registraban más de 40.000 eventos de este tipo al año, lo que motivó la elaboración de manuales y guías orientadas a reducir su ocurrencia. En este contexto, se distinguen distintos tipos de mantenimiento aplicables a los sistemas de recolección: correctivo, preventivo y predictivo. El mantenimiento correctivo consiste en intervenir una vez que se ha producido una falla en el sistema. El mantenimiento preventivo, en cambio, busca evitar que dichas fallas ocurran mediante revisiones y acciones planificadas. Por su parte, el mantenimiento predictivo se basa en el seguimiento del desempeño del sistema a través de datos y monitoreo continuo, lo que permite detectar cambios en su comportamiento y anticipar posibles fallas antes de que estas se produzcan, facilitando así una intervención planificada y más eficiente. No obstante, en la práctica, muchas empresas operadoras continúan trabajando principalmente bajo un enfoque de mantenimiento correctivo. Esto se debe, en gran medida, a limitaciones de recursos, tanto económicos como técnicos, lo que dificulta la implementación de estrategias más avanzadas de mantenimiento preventivo y predictivo. Como consecuencia, la gestión de las redes suele enfocarse en resolver problemas una vez que ya se han manifestado, en lugar de anticiparse a ellos mediante una planificación basada en información y monitoreo del estado de la infraestructura.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Entregar criterios técnicos que orienten la planificación del mantenimiento de las redes de alcantarillado, promoviendo una transición desde un enfoque reactivo hacia uno más preventivo y basado en información. **Avalar:** Respaldar la importancia de implementar programas estructurados de gestión de activos y mantenimiento preventivo y predictivo como herramientas clave para mejorar la continuidad del servicio y reducir fallas en la red. **Complementar:** Aportar antecedentes conceptuales y metodológicos que complementen el análisis de la gestión de las redes de alcantarillado, incorporando buenas prácticas internacionales en operación y mantenimiento.

	Definir: Contribuir a definir principios y lineamientos que permitan estructurar programas de mantenimiento más eficientes, orientados a prolongar la vida útil de la infraestructura y optimizar el uso de los recursos disponibles. **Contrapropuesta:** Plantear la necesidad de fortalecer los enfoques de planificación del mantenimiento dentro de las empresas sanitarias, priorizando estrategias preventivas y predictivas por sobre intervenciones correctivas que suelen resultar más costosas y menos eficientes. **Otros aportes:** Favorecer una visión de gestión de infraestructura basada en la sostenibilidad de largo plazo, donde la planificación, el monitoreo del estado de los activos y la programación anticipada de intervenciones permitan mejorar la eficiencia operativa, reducir riesgos sanitarios y optimizar la inversión en la red.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 30	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Soković, M.; Jovanović, J.; Krivokapić, Z.; Vujović, A. (2009). Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process. *Journal of Mechanical Engineering*, 55(5).
Palabras claves:	• Herramientas de calidad • Mejora continua • PDCA • Six Sigma • DMAIC • Lean Six Sigma • Control de procesos • Gestión de calidad.

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1.- “Las herramientas de calidad son instrumentos esenciales para el éxito de un programa de calidad.” 1.- “Las 7 herramientas básicas de calidad pueden ser utilizadas en todas las fases del proceso.” 1.- “El ciclo PDCA es un modelo dinámico diseñado para la mejora continua.” 1.- “El proceso de mejora continua no puede realizarse sin herramientas de calidad.” 2.- El artículo analiza el rol de las siete herramientas básicas de calidad (7QC) dentro de los procesos de mejora continua, destacando su aplicación en distintas metodologías de gestión como el ciclo PDCA, Six Sigma (DMAIC) y Lean Six Sigma. Las herramientas principales incluyen: diagrama de flujo, diagrama de Pareto, hoja de verificación, histograma, gráfico de dispersión, diagrama causa-efecto y gráficos de control. Estas permiten identificar problemas, analizar causas, evaluar resultados y mejorar procesos de manera sistemática. El estudio demuestra que estas herramientas pueden aplicarse en todas las etapas del ciclo PDCA (Plan, Do, Check, Act), siendo especialmente útiles en la identificación y análisis de problemas, así como en la evaluación de resultados. Asimismo, se explica la integración de estas herramientas en metodologías modernas como Six Sigma (DMAIC), donde apoyan las fases de definición, medición, análisis, mejora y control de procesos. También se destaca su rol en Lean Six Sigma para reducir desperdicios y mejorar la eficiencia. Finalmente, el artículo concluye que la aplicación sistemática de estas herramientas permite pasar de una gestión reactiva a una gestión proactiva basada en datos, mejorando la calidad y el desempeño organizacional.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Entrega base metodológica para análisis y mejora de procesos. **Avalar** Respalda el uso de herramientas analíticas en la toma de decisiones. **Complementar** Integra metodologías como PDCA, Six Sigma y Lean. **Definir** Define herramientas clave de análisis (Pareto, Ishikawa, control). **Contrapropuesta** Evidencia que la gestión sin herramientas estructuradas es ineficiente. **Otros aportes** Permite estructurar modelos de gestión basados en datos. ○

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

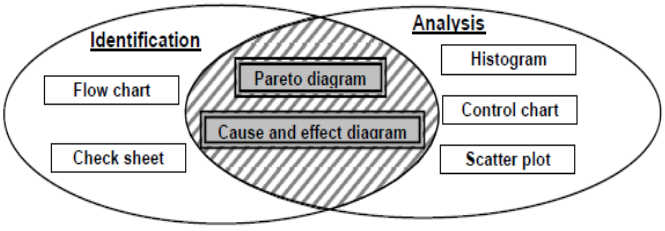


Fig. 1. *Use of 7QC tools in process identification and analysis*

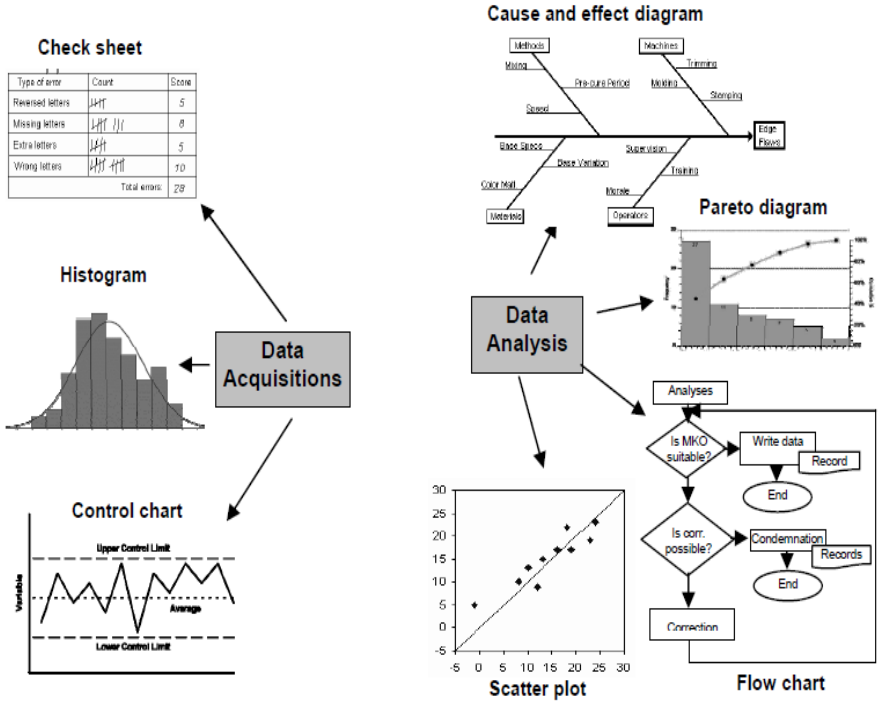


Fig. 2. *Current approach for using 7QC tools (according to EOQ)*

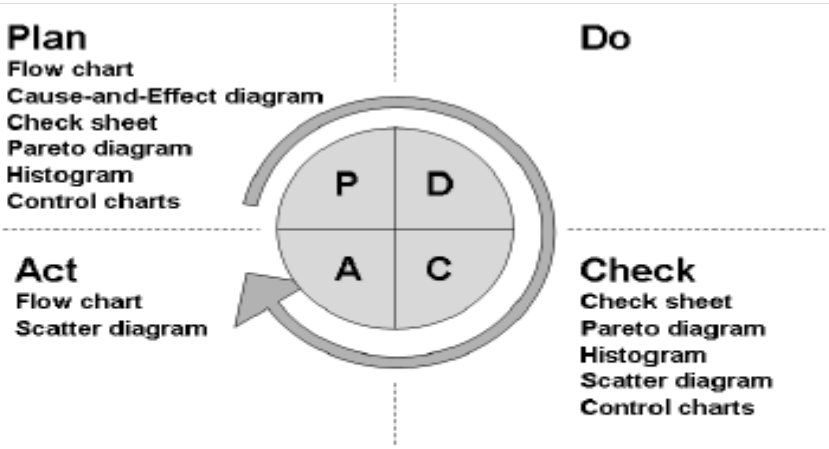


Fig. 4. *PDCA-cycle*

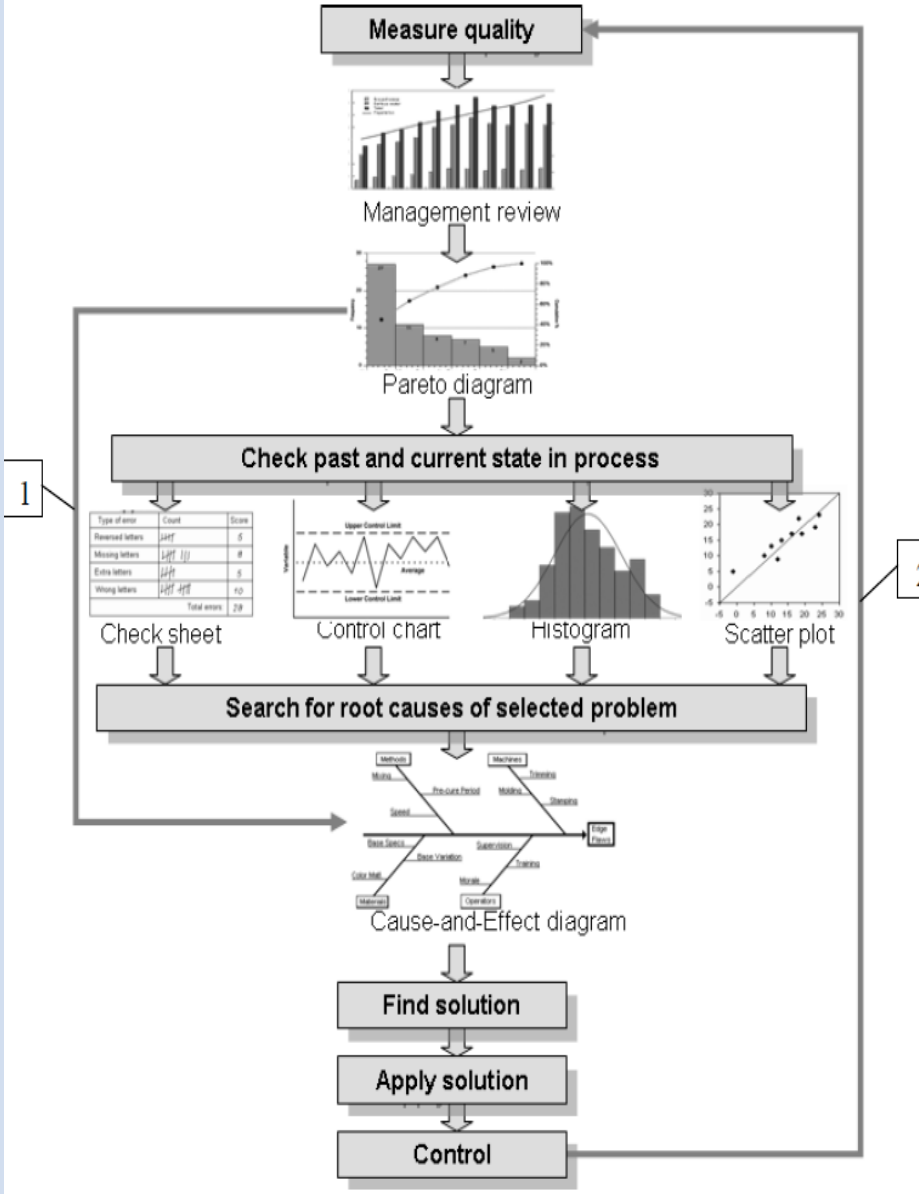


Fig. 5. *Seven basic quality tools (7QC tools) for quality improvement*

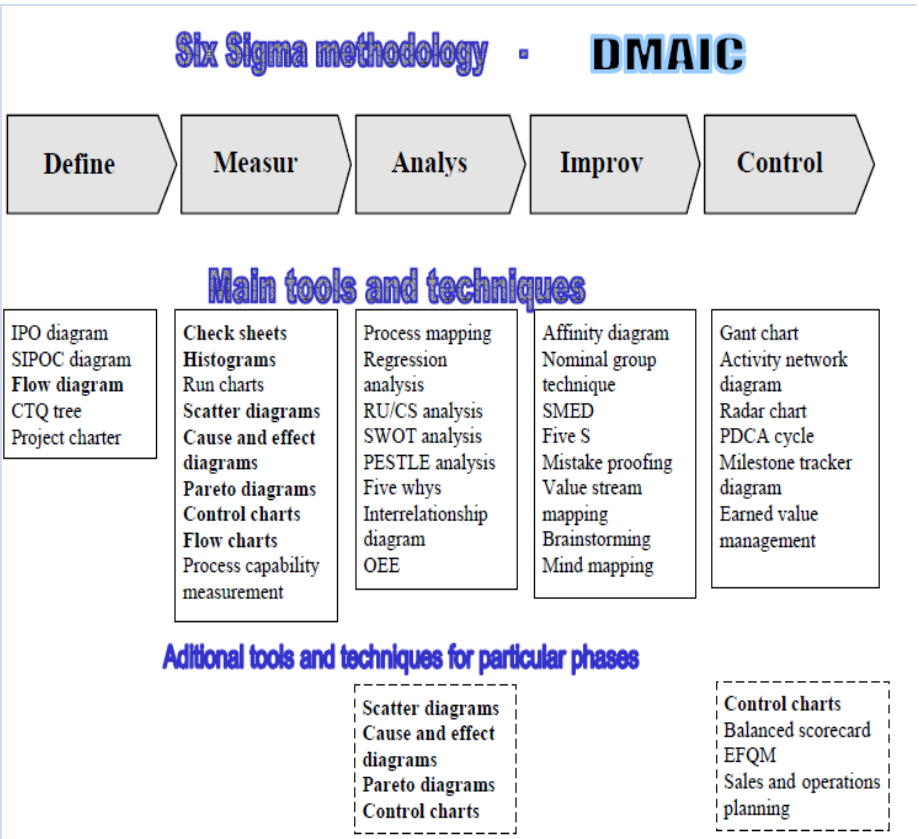


Fig. 6. *Quality tools and techniques in DMAIC methodology*

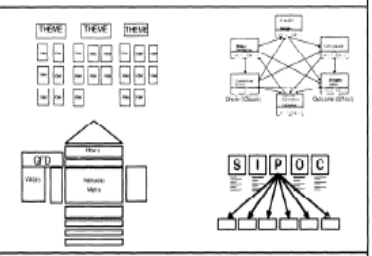
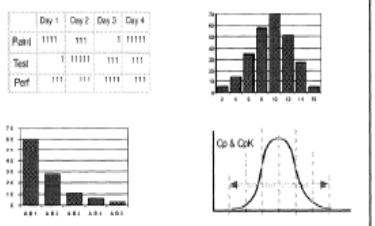
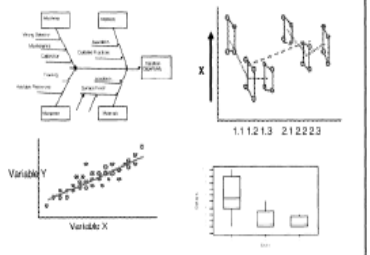
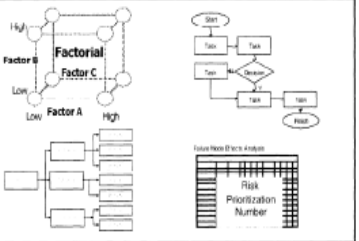
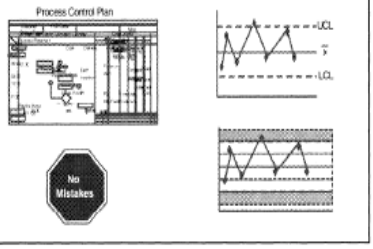
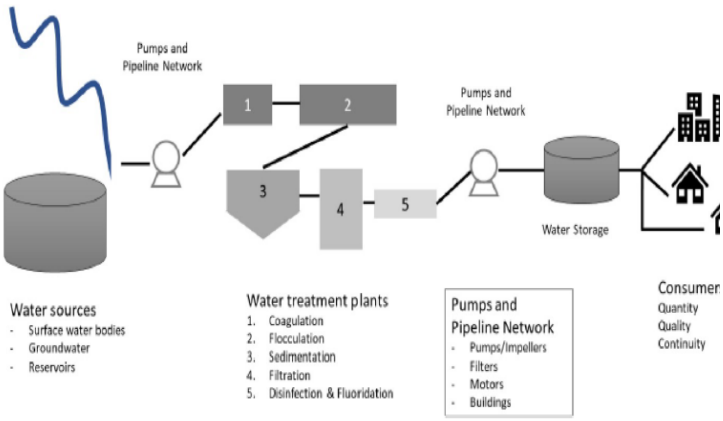
	Objective	Tools and Techniques	
Define	Identify Business Drivers Select Customer Critical Processes Define Projects Develop Implementation Plan Lean Concept Process Mapping (Value Added/ Nonvalue Added)	Affinity Diagram/ Interrelation Diagram Quality Function Deployment SIPOC Process Map Project Charter Value Stream Mapping Brainstorming Select Project Team and Goal	
Measure	Develop Key Process Measures Collect and Summarize Data Identify the Vital Few That Have the Greatest Impact Estimate Process Capability Measurement Systems Analysis	Data Collection Plan Check/Data Sheet Pareto Chart Gage R&R Histogram Value Analysis Control Charts for Existing Process	
Analyze	Understand Cause and Effects Create Multi-vari Analysis Determine Variance Components Assess Correlation	Cause and Effect Diagram Multi-Vari Charts Scatter Diagram Process Capability Study (Cp, Cpk, Pp, Ppk) Box Plot	
Develop	Identify and Prioritize Root Cause Apply DOE (Screen Potential Root Cause) Develop and Evaluate Solutions Implement Variation Reduction Cost Benefit Analysis Standardize Process Assess Risk Factors Kaizen Techniques Cellular Concept Pull System	Benchmarking Design of Experiments Response Surface Methodology Deployment Flowchart Tree Diagram FMEA, RPN, JIT, TPM, 5S Setup reduction	
Verify	Implement Process Control Implement Control Charts for Key Variables Mistake-Proof Processes Evaluate Results Lean Metrics	Process Control Plan Control/Precontrol Chart Poka-Yoke Pareto Chart (ongoing) Process Capability Charts (ongoing) Checklist Sheet	

Fig. 7. *Lean Six Sigma Black Belt improvement model (use of 7QC tools is emphasized)*

LECTURA 31	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*International Journal of Disaster Risk Reduction", Volumen 48, septiembre 2010. "Resilience of critical infrastructure to natural hazards: A review focused on drinking water systems"*
Palabras claves:	• Resiliencia • Infraestructura crítica • Agua potable • Riesgos naturales • Revisión bibliográfica
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "El primer paso para mejorar la resiliencia de los sistemas urbanos es comprender claramente el concepto de resiliencia y definir metodologías de evaluación sólidas. Por lo tanto, el presente trabajo realizó una revisión bibliográfica sobre el concepto de infraestructura crítica resiliente, con especial énfasis en el sistema de agua potable" 1.- "resiliencia en general (no solo a los sistemas físicos) como «la capacidad de un sistema socioecológico para absorber o resistir perturbaciones y otros factores de estrés, de manera que el sistema permanezca dentro del mismo régimen, manteniendo esencialmente su estructura y funciones." 1.- "Según las referencias [34], existen dos perspectivas para comprender la resiliencia de sistemas complejos: la ecológica y la de ingeniería. La resiliencia desde la perspectiva de ingeniería implica conceptos de eficiencia, estabilidad y previsibilidad, centrándose en la estabilidad funcional de un sistema cercano a un estado de equilibrio único y en la rapidez con la que dicho sistema regresa a este estado tras una perturbación." 1.- "Por otro lado, la resiliencia ecológica incluye conceptos de persistencia, cambio e imprevisibilidad, asociando condiciones alejadas de cualquier estado de equilibrio estable, donde las perturbaciones pueden llevar al sistema a una «nueva estabilidad»; es decir, el enfoque se centra en la inestabilidad y la tendencia a evolucionar hacia un nuevo estado." 2.- La metodología propuesta evalúa la resiliencia de sistemas de infraestructura hídrica mediante el análisis del nivel de servicio en el tiempo frente a eventos extremos, representando la caída del desempeño y su posterior recuperación como una curva cuyo "área de pérdida" permite cuantificar el impacto total de la falla. Este enfoque integra dimensiones técnicas y operativas a través de indicadores como robustez, redundancia y rapidez de respuesta, permitiendo comparar escenarios, priorizar intervenciones y apoyar la toma de decisiones, bajo el principio de que la resiliencia debe evaluarse de

	forma específica según el tipo de amenaza y las características del sistema.”
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: orienta la investigación hacia un enfoque de gestión basada en resiliencia, cambiando el foco desde el análisis de fallas individuales hacia la evaluación del comportamiento global del sistema frente a eventos extremos. **Avalar**: El documento indica que la gestión de infraestructura sanitaria debe: ○ incorporar análisis frente a amenazas naturales ○ considerar continuidad de servicio como criterio central ○ integrar dimensiones técnicas y organizacionales **Complementar:** Complementa las investigaciones existentes, al definir otro enfoque para la toma de decisiones, ya que coloca el foco en eventos extremos, en ves de análisis de fallas por sectores. **Contrapropuesta:** Propone un cambio importante frente a enfoques tradicionales ya estudiados, en donde se propone evaluar solo fallas o confiabilidad, en cambio, en el documento se propone evaluar el sistema completo en el tiempo frente a perturbaciones. **Otros aportes:** ○ Introduce una forma cuantificable de medir resiliencia ○ Permite comparar escenarios de inversión o mejora ○ Integra múltiples dimensiones (técnica, social, operativa)
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 1. Representation of the infrastructure of a drinking water supply system. Source: Adapted from [19].

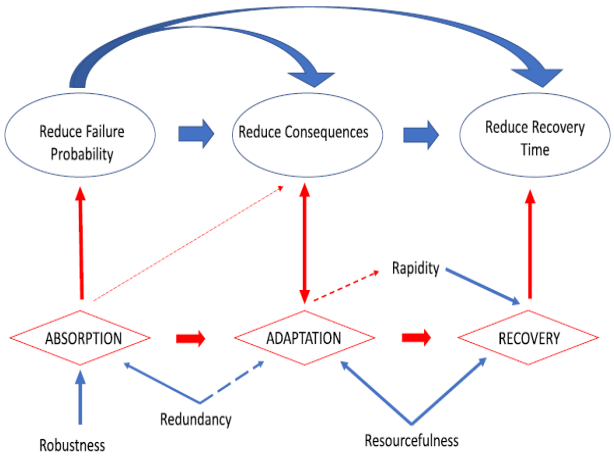


Fig. 2. Relationship between the capacities (Absorption, Adaptation and Recovery), the properties (Robustness, Redundancy, Resourcefulness and Rapidity) and characteristics or goals of resilient systems (reduce the probability of failure, reduce the consequences and reduce the recovery time).
Source: Own elaboration

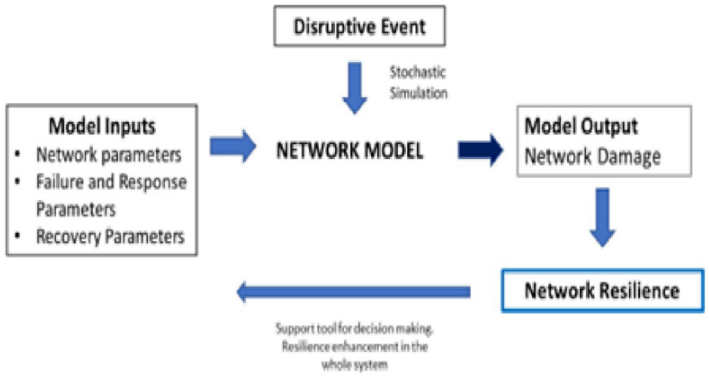


Fig. 5. Gay and Sinha conceptual research model.
Source: Adapted from [61].

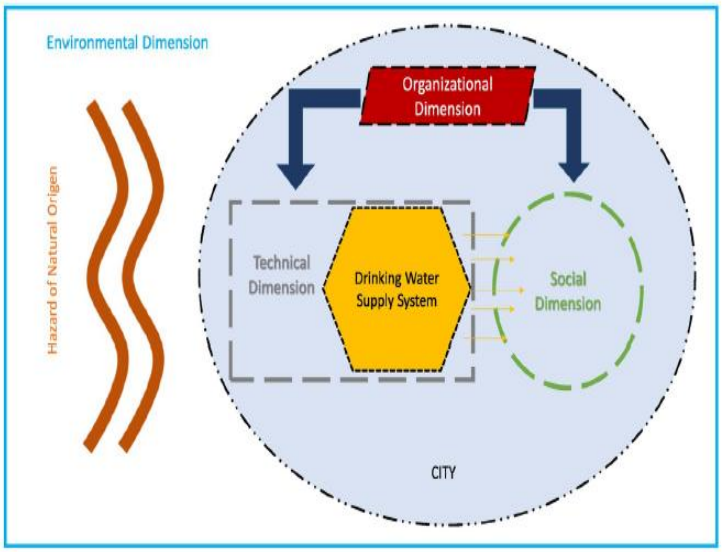


Fig. 6. Relation among dimensions of resilience to normal situations or without perturbations of natural origin.
Source: Own elaboration

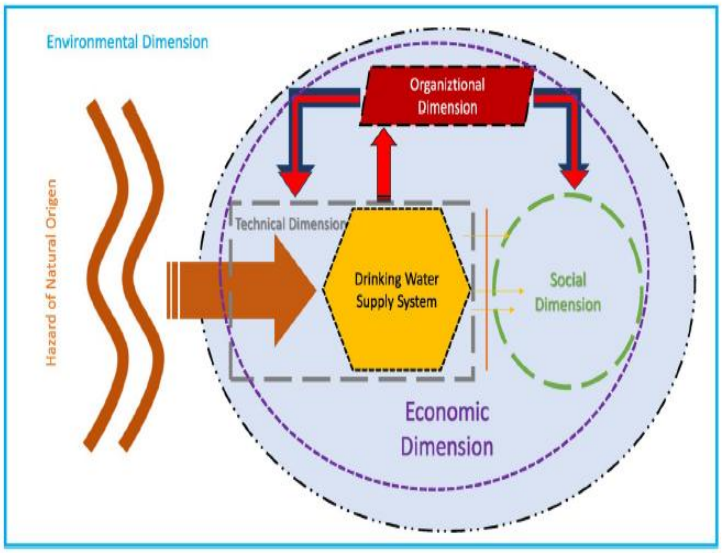


Fig. 7. Relation among resilience dimensions when there is a perturbation of natural origin.
Source: Own elaboration

Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista “Journal of Infrastructure Systems”*, volumen 5, junio 1999. “Diagnostic techniques for sewer systems”*
Palabras claves:	• Alcantarillado • Gestión de activos • Herramientas de apoyo a la toma de decisiones
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** **2. Redacciones propias**	1.- “Este artículo analiza técnicas de diagnóstico de alcantarillado nuevas y en desarrollo, investigadas en el marco de un proyecto de cooperación entre el Instituto de Investigación en Construcción (IRC)” 1.- “Estas técnicas se clasifican en tres grupos. El primer grupo, que incluye las inspecciones convencionales con CCTV, comprende técnicas que determinan el estado de la superficie interna del alcantarillado. El segundo grupo examina el estado general de la pared del alcantarillado y, en algunos casos, el suelo circundante. Finalmente, el tercer grupo detecta problemas específicos dentro o detrás de la pared del alcantarillado.” 2.- En el primer grupo se destacan 3 tipos principales de diagnóstico de colectores: • métodos de inspección televisiva de colectores, esta puede incorporar herramientas de medición y asistencia computacional de detección de defectos. • Inspección con láser, que permite identificar las grietas superficiales de las tuberías • Ultrasonido: permite identificar deformaciones en la tubería. 2.- En el segundo grupo se destacan herramientas que permiten medir la integridad estructural de la tubería, destacando herramientas como las vibraciones naturales, eco de impacto y el análisis espectral de ondas superficiales. 2.- finalmente en el tercer grupo se presenta Radar de penetración terrestre, el que consiste en ondas electromagnéticas que se emiten hacia el suelo; estas ondas penetran en el terreno y, al encontrar cambios en los materiales (como tuberías, vacíos, humedad o deterioro), se reflejan de vuelta hacia un receptor. A partir de esas señales reflejadas, se puede obtener información sobre lo que ocurre bajo la superficie.

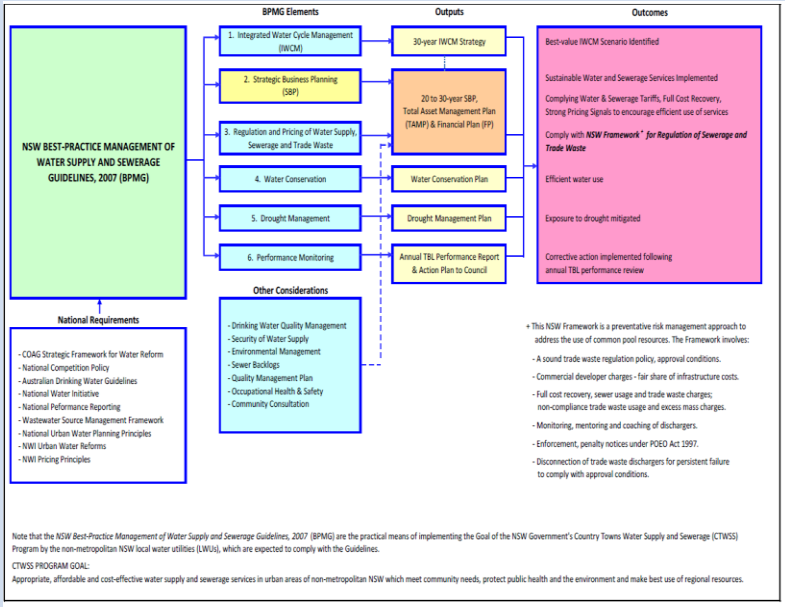
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: orienta la selección de técnicas adecuadas para evaluar el estado de las redes de alcantarillado según el tipo de problema y condiciones del sistema. **Avalar**: respalda el uso combinado de técnicas tradicionales y avanzadas para lograr diagnósticos más completos y confiables. **Complementar:** complementar los métodos de inspección visual con tecnologías no destructivas que permiten detectar fallas no visibles. **Definir:** define y clasifica las principales técnicas de diagnóstico (visuales, indirectas y de gestión de datos) utilizadas en sistemas de alcantarillado. **Otros aportes:** mejorar la toma de decisiones en mantenimiento, optimizar recursos y prolongar la vida útil de las tuberías mediante una mejor evaluación de su estado.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

Table 1 – Investigated Sewer Inspection Techniques

Inspection Technique	Use	Availability
Inspection of the Inner Pipe Surface		
Conventional CCTV	Examine pipe wall surface	Commercially available
Stationary CCTV	Examine pipe wall surface to select pipes for conventional CCTV examination	Commercially available
Light line CCTV	Quantify deformation measurements during conventional CCTV	Commercially available
Computer Assisted CCTV	Examine pipe wall surface as conventional CCTV substitute	Commercially available for small diameter pipes
Laser Scanning	Examine pipe wall surface as conventional CCTV substitute	In development/Commercially available for small diameter sewers
Ultrasound	Examine pipe wall surface under water, quantify deformation measurements, Examine pipe wall as conventional CCTV substitute	Commercially available
Inspection of Pipe Structure and Bedding Condition		
Microdeflections	Measure pipe wall condition	In Development
Natural Vibrations	Measure pipe wall and bedding condition	In Development
Impact Echo	Measure pipe wall integrity, surrounding soil conditions	Commercially available for large diameter water mains
Spectral Analysis of Surface Waves	Measure pipe wall integrity, surrounding soil conditions	Commercially available for large diameter water mains
Inspection of Bedding		
Ground Penetrating Radar	Determine presence of voids, water, rocks near pipe exterior	In Development

LECTURA 33 CLASES	TIPO de lectura: Específica
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Guía técnica: *NSW Water and Sewerage Strategic Business Planning Guidelines – Total Asset Management Plan*. Documento técnico institucional sobre gestión de activos en sistemas de agua y alcantarillado
Palabras claves:	• Gestión de activos • Alcantarillado • Planificación operacional • Mantenimiento • Niveles de servicio • Infraestructura sanitaria • Planificación estratégica.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 14. **Redacciones propias**	1.-“Un registro de activos contiene información física (material, tamaño, edad, vida útil) y financiera de cada activo, lo cual permite evaluar necesidades de renovación o reemplazo” 1.-“Un análisis operacional corresponde a una evaluación completa del sistema para determinar si es capaz de satisfacer las necesidades actuales y futuras de manera eficiente” 1.-“El plan de operación es una parte clave de la gestión de activos, ya que proporciona insumos para los planes de mantenimiento y de obras de capital” 2.- El documento establece un marco estructurado de gestión de activos para sistemas de agua y alcantarillado, basado en la integración de planes operacionales, de mantenimiento y de inversión. Se destaca la importancia de contar con registros detallados de activos, evaluación de su condición y definición de niveles de servicio para orientar la toma de decisiones. El enfoque propuesto articula la planificación estratégica con la operación del sistema, permitiendo identificar necesidades de rehabilitación o reemplazo de infraestructura de manera sistemática y basada en información técnica y económica.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: entrega una estructura clara de cómo construir un modelo de gestión de activos. **Avalar**: respalda el uso de registros de activos y evaluación de condición. **Complementar**: integra operación, mantenimiento y planificación de inversiones. **Definir**: clarifica conceptos clave como niveles de servicio, análisis operacional y planificación de activos. **Contrapropuesta**: no presenta contradicción, es un marco base. **Otros aportes**: aporta una metodología aplicable directamente a sistemas de alcantarillado.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 **Figure 1** The NSW Best-Practice Management of Water Supply and Sewerage Framework

LECTURA 34	TIPO de lectura: Específica
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico: *Machine learning-based sewer asset management: a review of published works*. Revisión de literatura sobre la aplicación de machine learning en la gestión de activos de alcantarillado
Palabras claves:	• Gestión de activos alcantarillado • Machine learning • Predicción de fallas • Mantenimiento predictivo • Análisis de datos • Toma de decisiones.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 15. **Redacciones propias**	1.- “El uso de técnicas de aprendizaje automático ha aumentado significativamente en la gestión de activos de redes de alcantarillado, particularmente en la predicción de fallas” 1.- “Los modelos basados en datos permiten identificar patrones ocultos en grandes volúmenes de información provenientes de inspecciones y operación de redes” 1.- “La integración de machine learning en la gestión de activos mejora la eficiencia en la toma de decisiones y la priorización de intervenciones” 2.- El artículo presenta una revisión sistemática del uso de técnicas de machine learning en la gestión de redes de alcantarillado, destacando su aplicación en la predicción de fallas, evaluación de condición y optimización del mantenimiento. Se evidencia que el análisis de grandes volúmenes de datos permite mejorar la precisión en la identificación de activos críticos, contribuyendo a una toma de decisiones más informada. El estudio posiciona estas herramientas como una tendencia emergente dentro de la gestión de activos, especialmente en contextos donde existe disponibilidad de información histórica y operacional.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: entrega nuevas herramientas para mejorar la gestión de activos. **Avalar**: respalda el uso de datos y tecnología en la toma de decisiones. **Complementar**: aporta un enfoque moderno basado en análisis predictivo. **Definir**: clarifica el rol del machine learning en la gestión de infraestructura. **Contrapropuesta**: no contradice enfoques tradicionales, los complementa. **Otros aportes**: introduce innovación tecnológica aplicable a la planificación y mantenimiento.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 35	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Canales Salinas, R. J. (2015). Criterios para la toma de decisión de inversiones. Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas (REICE), Vol. 3, No. 5, UNAN-Managua.
Palabras claves:	• Inversión • Evaluación de proyectos • Valor presente neto • Tasa interna de retorno • Período de recuperación • Rentabilidad.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 16. **Redacciones propias**	1.- “Todo proyecto productivo podrá evaluarse considerando su propia recuperabilidad y su rentabilidad.” 1.- “Existen métodos que consideran el valor del dinero en el tiempo y otros que no lo consideran.” 1.- “El valor presente neto muestra los beneficios netos generados por el proyecto durante su vida útil después de cubrir la inversión inicial.” 1.- “La tasa interna de retorno constituye la tasa de interés a la cual se deben descontar los flujos para igualarlos con la inversión.” 2.- El artículo presenta un enfoque teórico sobre los principales criterios utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Se distinguen metodologías que consideran el valor del dinero en el tiempo (VPN y TIR) y aquellas que no lo consideran (periodo de recuperación y tasa de rendimiento contable). Se explica el funcionamiento, aplicación, ventajas y limitaciones de cada método, destacando que los indicadores financieros permiten tomar decisiones respecto a la aceptación o rechazo de proyectos. Además, se enfatiza que el uso de herramientas como el VPN y la TIR permite una mejor aproximación a la rentabilidad real de las inversiones, mientras que métodos más simples como el payback sirven como filtros iniciales.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Permite comprender los criterios básicos para evaluar proyectos de inversión. **Avalar** Respalda el uso del VPN y la TIR como herramientas principales en la toma de decisiones. **Complementar** Entrega fundamentos financieros aplicables a la evaluación de inversiones en infraestructura. **Definir** Define conceptos clave como rentabilidad, recuperación de inversión y valor del dinero en el tiempo. **Contrapropuesta** Evidencia limitaciones de métodos simples como el periodo de recuperación. **Otros aportes** Entrega bases metodológicas para comparar alternativas de inversión.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 36	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Automation in Construction", Volumen 7, mayo 1998. "Assessment technologies for sewer system rehabilitation"*
Palabras claves:	• Infraestructura civil • Defectos en tuberías • Tecnologías de evaluación • Rehabilitación de alcantarillado • Inspección con CCTV • Adquisición de datos multisensoriales • Mapas autoorganizados difusos
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Muchos de estos sistemas subterráneos se están deteriorando debido al envejecimiento, la demanda excesiva, el mal uso, la exposición, la mala gestión y el abandono. Debido a su baja visibilidad, la rehabilitación de los sistemas de alcantarillado suele posponerse hasta que se produce una falla importante, lo que resulta en una rehabilitación difícil y costosa" 1.- "Para que cualquier método de inspección sea generalizado y eficaz en un proceso de evaluación de estado, debe cumplir los siguientes criterios: • Proporcionar información precisa y fiable, • Mejorar la eficiencia y la economía, con costes comparables a los del método convencional, • Ofrecer métodos de inspección no destructivos, • Tener una amplia gama de posibles aplicaciones, • Causar una mínima alteración del entorno, • Ser relativamente sencillo de usar." 2.- Para la inspección de las redes de alcantarillado se presentan distintas tecnologías: • Inspección manual con cámara (push camera): Se usa en tuberías pequeñas o accesos limitados, donde la cámara se empuja manualmente • CCTV robotizado: La cámara se desplaza mediante un vehículo controlado desde superficie • Sistema de termografía infrarroja: permite determinar a través de cambios de temperatura la existencia de fallas o filtraciones en la red. • Medición de distancia sónica: consiste en medir el tiempo que tarda un pulso de sonido en viajar desde una fuente hasta un objetivo, permitiendo medir la integridad del estado de la tubería.

	• técnica de radar de penetración terrestre: una antena transmisora emite ondas electromagnéticas hacia el terreno. Las ondas reflejadas en la interfaz de la superficie representan los cambios en las propiedades eléctricas del material del subsuelo. • Sistema Karo: es un robot móvil de alta maniobrabilidad, controlado de forma remota o semiautomática, que incorpora multisensores inteligentes para la inspección en línea de las tuberías de alcantarillado. El sistema multisensorial se basa en un sensor óptico 3D, sensores ultrasónicos y un sensor de microondas.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Orienta la investigación hacia la necesidad de implementar programas sistemáticos de inspección, en lugar de operar solo de forma reactiva ante fallas. **Avalar**: Refuerza el uso de inspección televisiva para el diagnóstico de fallas en las redes de alcantarillado, presentando distintas tecnologías para complementar el método tradicional de inspección televisiva por empuje. **Contrapropuesta:** Si bien se presenta el CCTV como una herramienta fuerte de diagnóstico, se propone complementar con sensores en tiempo real, análisis automatizado de las redes con apoyo de la IA y modelos predictivos. **Otros aportes:** o Destaca la importancia de la calidad de la inspección de redes en la toma de decisiones. o Refuerza la necesidad de estandarización en la evaluación de daños. o Introduce el problema de la subjetividad en la inspección. o Apoya el desarrollo de sistemas integrados de gestión de redes.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

FILE NO. 3 STATION: 41 CURRENT FOOTAGE: 58.5 TOTAL FOOTAGE: 337.5

RADIUS DEVIATION

12.5	8.5
13.4	1.4
13.3	1.3
13.4	1.4
13.0	1.0
12.9	0.9
13.1	1.1
12.8	0.8
13.1	1.1
13.4	1.4
11.9	-0.1

DX= 0 DY= 11.5

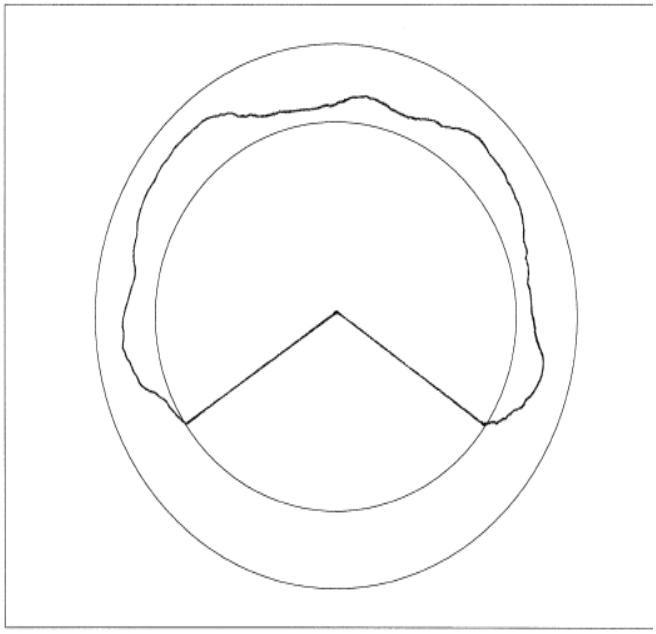
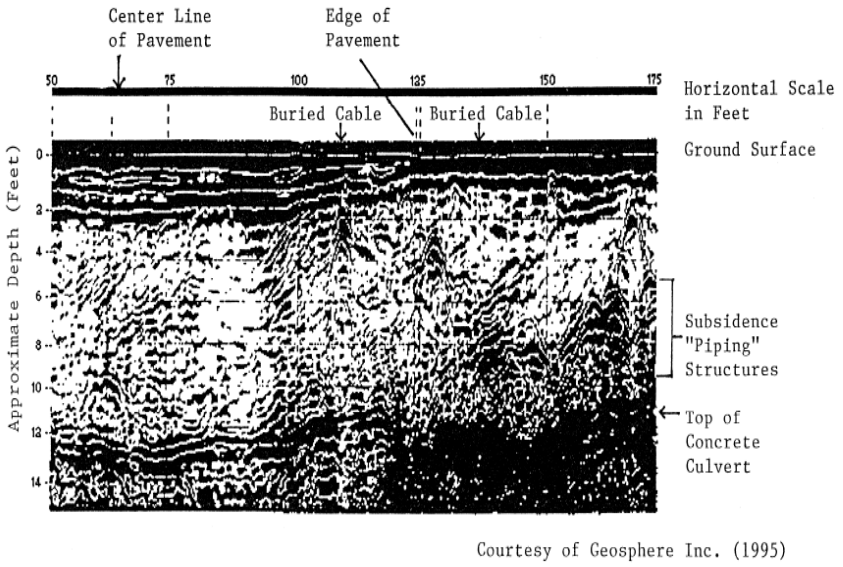


Fig. 1. Rotating sonic caliper output: 600 mm concrete pipe with severe corrosion [9].



Courtesy of Geosphere Inc. (1995)

Fig. 2. GPR profile over asphalt/concrete pavement showing piping and subsidence features over buried concrete culvert [1

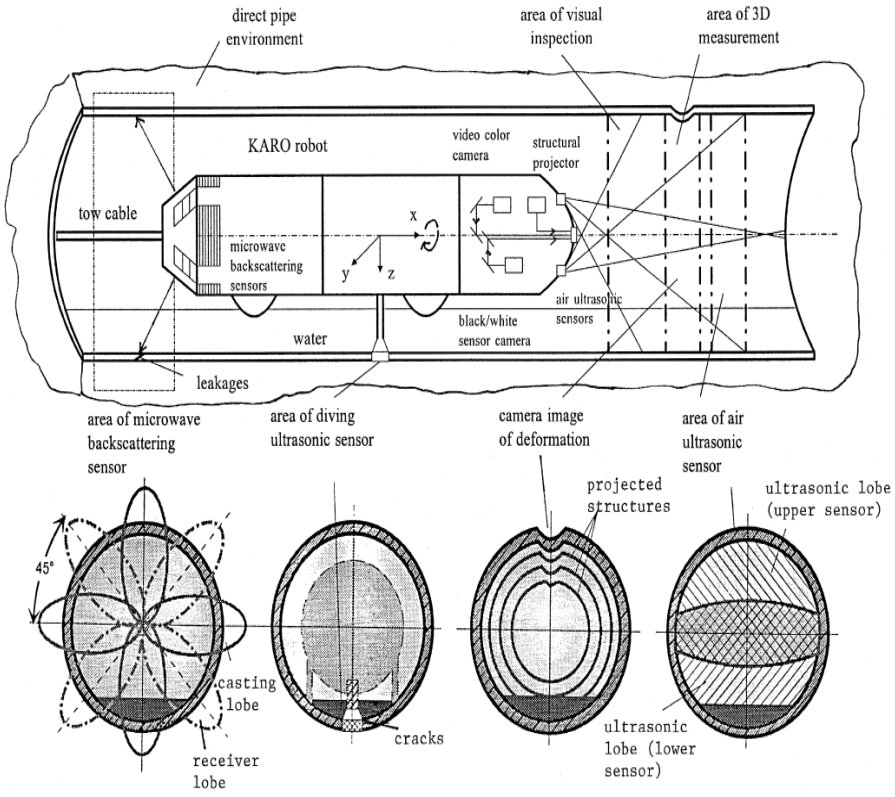


Fig. 3. Optical and sensor equipment in the KARO robot [13].

Table 1
Evaluation of assessment technologies for sewer system rehabilitation

	Techniques	Advantages	Obstacles for implementation
(1)	CCTV	● very commonly-used, well-known technology ● new developments include production of higher quality images, and portable inspection system.	● dependent on skill and experience of technicians ● dependent on the quality of TV picture ● difficult to estimate field production ● does not provide backfill condition information ● inaccuracy in detection of certain pipe defects
(2)	Infrared Thermography System	● large area of inspection ● allows nighttime inspection ● detects pipe wall defects and provides backfill information ● high field production	● does not provide information on the depth of cracks (deep defects are difficult to detect) ● image interpretation depends on environment and surface conditions ● relies on single-sensor data collection
(3)	Sonic Distance Measurement Method	● describes cross sections of pipes ● measures pipe wall deflection, corrosion loss, volume of debris. ● high field production	● records only the part of the pipe that is not under water, or below water, not simultaneously ● relies on single-sensor data collection
(4)	Ground Penetrating Radar	● provides continuous cross-section profile of pipe walls. ● identifies depth of cracks ● high field production	● data interpretation is very difficult, requires experience and training
(5)	Advanced systems (KARO, PIRAT, SSET)	● multi-sensory system (hence, provides more reliable data) ● provides continuous profile of pipe walls ● robot module ● higher benefit/cost ratio is anticipated.	● in the prototypical or testing stage (requires further development for field implementation) ● high initial cost

LECTURA 37	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J. B., Olivares, C., Vera, M., Balocchi, F., Pérez, F., Vallejos, C., Fuentes, R., & Abarza, A. (2014). Water governance in Chile: Availability, management and climate change challenges. Journal of Hydrology, 519, 2538–2567.
Palabras claves:	• Gestión del agua • Gobernanza hídrica • Cambio climático • Recursos hídricos • Instituciones del agua • Derechos de agua
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 17. **Redacciones propias**	1.- “La gestión de los recursos hídricos en Chile se ve dificultada por la superposición de competencias institucionales en algunos ámbitos.” 1.- “Las instituciones centralizadas forman parte de la administración del gobierno y participan en la gestión de la calidad y cantidad del agua.” 1.- “Las organizaciones de usuarios de agua son responsables de la administración y distribución del recurso hídrico a nivel local.” 2.- El artículo analiza la gobernanza del agua en Chile considerando factores institucionales, legales y ambientales que influyen en la gestión de los recursos hídricos. El estudio describe la estructura institucional del sistema hídrico chileno, caracterizado por la coexistencia de organismos públicos centralizados y organizaciones privadas de usuarios del agua. Además, se examinan los desafíos asociados a la disponibilidad del recurso, el cambio climático, la demanda creciente de agua y los conflictos entre distintos usuarios. El trabajo propone mejorar la coordinación institucional y fortalecer la gestión integrada de los recursos hídricos para enfrentar los desafíos futuros del sistema.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Proporciona un marco conceptual sobre la gobernanza y gestión del agua en Chile. **Avalar:** Respalda el análisis institucional y normativo de la gestión de recursos hídricos. **Complementar:** Aporta antecedentes sobre la organización institucional del sistema hídrico chileno. **Definir:** Explica la estructura de actores involucrados en la gestión del agua (organismos públicos y organizaciones de usuarios). **Contrapropuesta:** Plantea la necesidad de mejorar la coordinación institucional y fortalecer la gestión integrada del agua. **Otros aportes:** Analiza los impactos del cambio climático sobre la disponibilidad y gestión del recurso hídrico.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	Spatial distribution of mean annual runoff in Chile, at 27 monitoring stations installed along the country. *Source*: Adapted from INE (2012). Macrozone | Administrative region | Station/location | Basin surface (km^2) | River length (km) | Mean a ($m^3 s^{-1}$ Far North (17°30′S–25°40′S) | Arica y Parinacota | Río Lluta en Panamericana | 3437 | 147 | 0.3 Río San José en Ausipar | 3193 | 83 | 0.6 Antofagasta | Río Salado en Sifón Ayquina | 2210 | 80 | 0.4 Río Loa en Finca | 33,082 | 440 | 2.43 Near North (25°40′S–32°15′S) | Atacama | Río Copiapó en la Puerta | 18,704 | 162 | 0.8 Río Huasco en Algodones | 9813 | 90 | 1.84 Coquimbo | Río Elqui en Algarrobal | 9825 | 75 | 4.1 Río Grande en Puntilla San Juan | 544 | 115 | 2.3 Río Choapa en Cuncumén | 7630 | 97 | 4.1 Central Chile (32°15′S–36°33′S) | Valparaiso | Río Aconcagua en Chacabuquito | 7338 | 142 | 18.6 Metropolitana | Río Maipo en El Manzano | 15,303 | 250 | 91.7 Río Mapocho en Los Almendros | 4230 | 76 | 3.6 O'Higgins | Río Cachapoal en Junta Cortaderal | 6370 | 170 | 28.1 Río Tinguiririca bajo Los Briones | 4730 | 167 | 35.6 Maule | Río Teno después junta con Claro | 1590 | 102 | 30.6 Río Mataquito en Licantén | 6357 | 95 | 67.8 Río Maule en longitudinal | 21,074 | 240 | 79.7 South (36°33′S–44°06′S) | Biobío | Río Itata en General Cruz | 11,293 | 130 | 34.8 Río Biobío en Rucalhue | 24,264 | 380 | 334.5 La Araucanía | Río Cautín en Cajon | 3100 | 174 | 103.9 Río Toltén en Teodoro Schmidt | 8397 | 123 | 433.7 Los Ríos | Río Calle-Calle en balsa San Javier | 5267 | 55 | 465.4 Los Lagos | Río Pilmaiquén en San Pablo | 2467 | 68 | 153.01 Far South (44°06′S–56°00′S) | Aysén | Río Simpson bajo junta Coyhaique | 3712 | 88 | 68 Río Aysen en Puerto Aysen | 11,456 | 26 | 654.8 Magallanes y La Antártica | Río Serrano en Desembocadura | 7347 | 38 | 275.1 Río San Juan en desembocadura | 860 | 60 | 15.9

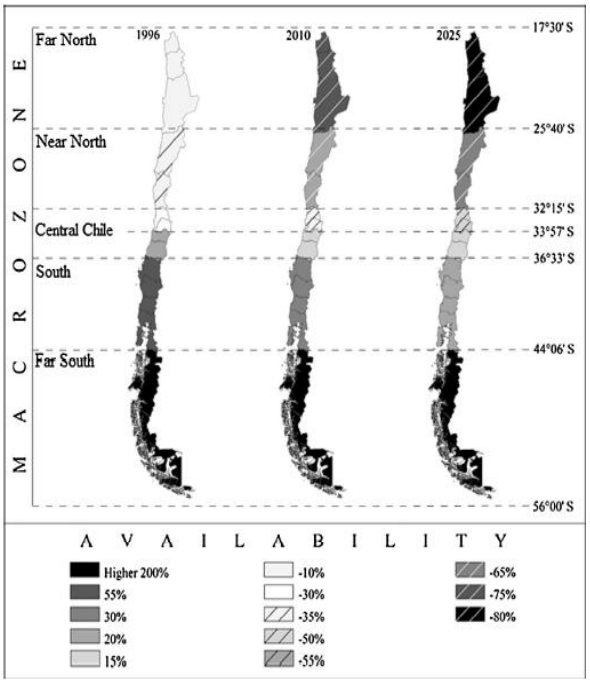


Fig. 9. Percentages of increase/decrease of water availability over time, by Macrozone. *Source*: Adopted from World Bank (2011).

LECTURA 38	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Krick, T., Forstater, M., Monaghan, P., & Sillanpää, M. (2005). De las palabras a la acción: El compromiso con los stakeholders. Manual para la práctica de las relaciones con los grupos de interés (Volumen 2). AccountAbility – United Nations Environment Programme (UNEP) – Stakeholder Research Associates.
Palabras claves:	• Stakeholders • Grupos de interés • Responsabilidad social corporativa • Sostenibilidad • Diálogo empresarial • Participación de stakeholders • Gestión estratégica.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 18. **Redacciones propias**	1.- “El término ‘stakeholder’ se refiere a aquellas personas o grupos de personas que se ven afectados o se podrían ver afectados por las operaciones de una organización o empresa.”

	1.- “El compromiso con los stakeholders consiste en las acciones desarrolladas por las empresas para dar el derecho a ser escuchados a sus grupos de interés.” 1.- “Las relaciones exitosas con los stakeholders ayudan a las empresas a asegurar su liderazgo en un contexto cada vez más complejo y cambiante.” 2.- El manual explica cómo las organizaciones pueden desarrollar relaciones estratégicas con sus stakeholders o grupos de interés. Estas relaciones permiten mejorar la toma de decisiones, gestionar riesgos, fortalecer la reputación y contribuir al desarrollo sostenible. El documento propone un enfoque estructurado para gestionar estas relaciones mediante cinco etapas: pensamiento estratégico, análisis y planificación, fortalecimiento de capacidades, diseño del proceso de relación y actuación y revisión. Este enfoque busca integrar las opiniones y necesidades de los stakeholders dentro de la estrategia organizacional.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Proporciona directrices para gestionar las relaciones entre empresas y grupos de interés. **Avalar** Respalda la importancia del diálogo con stakeholders para mejorar la sostenibilidad empresarial. **Complementar** Integra aspectos sociales, ambientales y económicos dentro de la gestión estratégica. **Definir** Define el concepto de stakeholders y su papel en la toma de decisiones organizacionales. **Contrapropuesta** Propone un modelo sistemático para gestionar relaciones con stakeholders más allá de la gestión tradicional. **Otros aportes** Permite mejorar la transparencia, la rendición de cuentas y la confianza entre organizaciones y sociedad.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

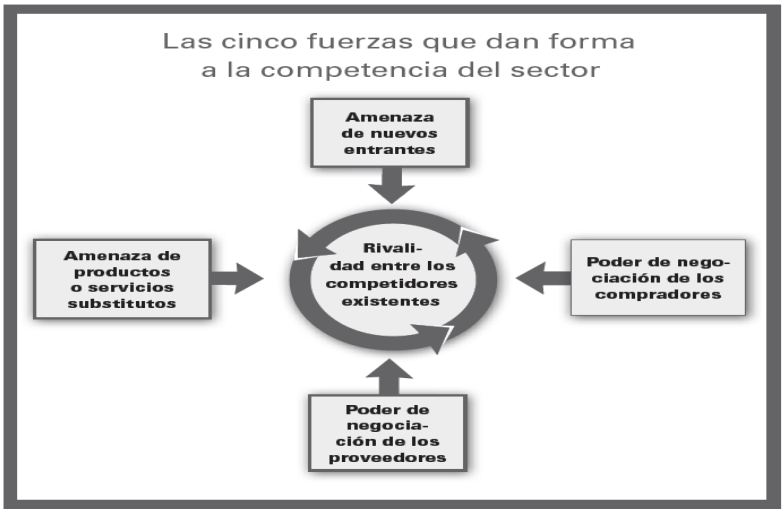
TABLA A: Relaciones efectivas con stakeholders: Mapa del proceso

Etapa	Meta	Acciones y Herramientas	Producto específico	Resultado final
Pensamiento estratégico	Identificar los stakeholders y temas claves para la empresa	Descripción de los stakeholders Prueba de relevancia de cinco partes Tabla de madurez de temas Matriz de influencia y dependencia	Mapa de stakeholders Matriz de stakeholders y temas Temas y/o stakeholders prioritarios	Comprender mejor a quiénes afecta la empresa, quiénes afectan a la empresa y cuáles son los "grandes temas"
Análisis y planificación	Evaluar la situación actual de la empresa, conocer mejor los temas y los representantes de los stakeholders, y planificar adecuadamente	Evaluación de la capacidad organizacional para responder a los temas o a los stakeholders Definición de márgenes de maniobra Análisis de los representantes de los stakeholders Plan para el desarrollo de la organización y los stakeholders	Mayor conocimiento de los temas y los stakeholders Conocimiento de las fortalezas y debilidades Plan para el desarrollo de la organización y los stakeholders	Compromiso interno
Fortalecimiento de las capacidades de relación	Identificar las capacidades individuales y los sistemas organizacionales necesarios para relacionarse efectivamente con los stakeholders	Identificación de las capacidades internas necesarias Desarrollo de las capacidades de los stakeholders Recurrir a capacidades y habilidades externas	Capacitación y/o selección para desarrollar al personal clave Integración de la relación con stakeholders a los sistemas de gestión e información	La empresa y los stakeholders tienen la capacidad para relacionarse de forma efectiva
Diseño del proceso de relación con stakeholders	Planificar y ejecutar efectivamente actividades de relación con stakeholders	Decidir qué herramientas/ enfoques utilizar Asesoramiento en enfoques claves	Se desarrollan los procesos de relación con stakeholders	La empresa y los stakeholders obtienen información, comienzan a entenderse y promueven acuerdos para actuar en temas de interés mútuo
Actuación y revisión	Traducir los nuevos conocimientos, experiencias y acuerdos en acciones	Planificación de acciones (objetivos SMART) Generación de confianza Presentación de informes Revisión del proceso	Planes de acción Retroalimentación a stakeholders (informes) Cambios en la relación para nuevos ciclos	**Cambios en las acciones de la empresa y/o los stakeholders**

LECTURA 39	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Porter, Michael E. (2008). Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia. Harvard Business Review América Latina. Reimpresión R0801E-E.
Palabras claves:	• Estrategia competitiva • Cinco fuerzas de Porter • Estructura del sector • Rivalidad competitiva • Poder de negociación • Barreras de entrada • Productos sustitutos.

Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 19. **Redacciones propias**	1.- “La competencia por las utilidades va más allá de los rivales establecidos de un sector e incluye a los clientes, los proveedores, los posibles entrantes y los productos sustitutos.” 1.- “Las cinco fuerzas competitivas determinan la estructura de un sector y dan forma a la naturaleza de la interacción competitiva dentro de un sector.” 1.- “La estructura del sector determina la rentabilidad en el mediano y largo plazo.” 2.- El artículo explica el modelo de las cinco fuerzas competitivas desarrollado por Michael Porter para analizar la estructura y rentabilidad de un sector económico. Este modelo sostiene que la competitividad de una industria no depende únicamente de la rivalidad entre empresas existentes, sino también de cinco factores estructurales: la amenaza de nuevos competidores, el poder de negociación de proveedores, el poder de negociación de compradores, la amenaza de productos sustitutos y la rivalidad entre competidores. El análisis de estas fuerzas permite comprender el origen de la rentabilidad de un sector y diseñar estrategias que permitan posicionar a la organización de forma más competitiva y sostenible.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Permite analizar el entorno competitivo de una industria y comprender las condiciones estructurales del mercado. **Avalar:** Respalda el uso de modelos estratégicos para la formulación de planes y toma de decisiones organizacionales. **Complementar:** Ayuda a evaluar factores externos que influyen en la competitividad y sostenibilidad de las organizaciones. **Definir:** Establece las bases conceptuales del análisis estratégico mediante el modelo de las cinco fuerzas. **Contrapropuesta:** Permite comparar diferentes estrategias competitivas según la estructura del sector. **Otros aportes:** Ofrece un marco analítico para evaluar oportunidades de mercado, amenazas competitivas y posicionamiento estratégico.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros



Pasos típicos en el análisis del sector

Defina el sector pertinente:
- ¿Qué productos hay en el sector? ¿Cuáles son parte de un sector distinto?
- ¿Cuál es el alcance geográfico de la competencia?

Identifique los participantes y segméntelos en grupos, cuando sea lo adecuado:
¿Quiénes son
- los compradores y grupos de compradores?
- los proveedores y grupos de proveedores?
- los competidores?
- los substitutos?
- los posibles entrantes?

Evalúe los impulsores subyacentes de cada fuerza competitiva para determinar cuáles fuerzas son fuertes y cuáles son débiles, y por qué.

Determine la estructura general del sector, y pruebe la coherencia del análisis:
- *¿Por qué* el nivel de rentabilidad es el que es?
- ¿Cuáles son las fuerzas *controladoras* de la rentabilidad?
- ¿Es coherente el análisis del sector con la verdadera rentabilidad a largo plazo?
- ¿Los jugadores rentables están mejor posicionados respecto de las cinco fuerzas?

Analice cambios recientes y|probables en cada fuerza, tanto los cambios positivos como los negativos.

Identifique aspectos de la estructura del sector que podrían verse influidos por los competidores, nuevos entrantes o por su empresa.

Trampas comunes

Al hacer el análisis, evite los siguientes errores comunes:
- Definir el sector muy ampliamente o muy estrechamente.
- Elaborar listas en lugar de efectuar un análisis riguroso.
- Prestar la misma atención a todas las fuerzas en lugar de profundizar en las más importantes.
- Confundir el efecto (sensibilidad a los precios) con la causa (lógica económica de los compradores).
- Usar un análisis estático que pasa por alto las tendencias del sector.
- Confundir cambios cíclicos o transitorios con verdaderos cambios estructurales.
- Usar el marco para declarar que un sector es atractivo o no, en lugar de usarlo para orientar opciones estratégicas.

LECTURA 40	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Instituto Politécnico Nacional (IPN). Metodología para el análisis FODA. Dirección de Planeación y Organización. Secretaría Técnica del Instituto Politécnico Nacional. México, 2002.
Palabras claves:	• Análisis FODA • planeación estratégica • fortalezas; debilidades • oportunidades • amenazas • diagnóstico estratégico • formulación de estrategias.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 20. **Redacciones propias**	1.- “El análisis FODA es una de las herramientas esenciales que provee los insumos necesarios al proceso de planeación estratégica.” 1.- “Las fortalezas y debilidades corresponden al ámbito interno de la institución, mientras que las oportunidades y amenazas provienen del entorno externo.” 1.- “La matriz FODA permite generar estrategias a partir de la interacción entre fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.” 2.- El documento presenta una metodología estructurada para aplicar el análisis FODA como herramienta de planificación estratégica. Explica cómo identificar factores internos (fortalezas y debilidades) y factores externos (oportunidades y amenazas) que influyen en el desempeño de una organización. Posteriormente propone el uso de la matriz FODA**,** la cual permite generar estrategias mediante la combinación de estos factores, dando origen a cuatro tipos de estrategias: FO, FA, DO y DA. Este enfoque permite formular acciones estratégicas que optimicen las fortalezas institucionales, reduzcan las debilidades y respondan adecuadamente a las oportunidades y amenazas del entorno.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Permite estructurar el diagnóstico estratégico previo a la formulación de un modelo de gestión. **Avalar:** Respaldar metodológicamente el uso del análisis FODA en procesos de planificación y gestión institucional. **Complementar:** Apoya la identificación de factores internos y externos que influyen en la gestión de sistemas o infraestructura. **Definir:** Clarifica los conceptos de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas dentro de un proceso estratégico. **Contrapropuesta:** Permite contrastar el diagnóstico institucional con otras metodologías de análisis estratégico. **Otros aportes:** Proporciona una metodología clara para estructurar estrategias a partir de la interacción entre variables internas y externas.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	**FUNCIÓN SUSTANTIVA** **Fortalezas:** F1 F2 ... Fn **Debilidades:** D1 D2 ... Dr **Oportunidades:** O1 O2 ... Os **Amenazas:** A1 A2 ... As **Figura 1. Lista plana de factores FODA clasificados por función sustar del IPN.**

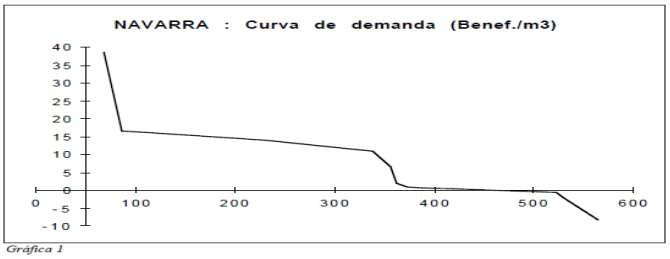
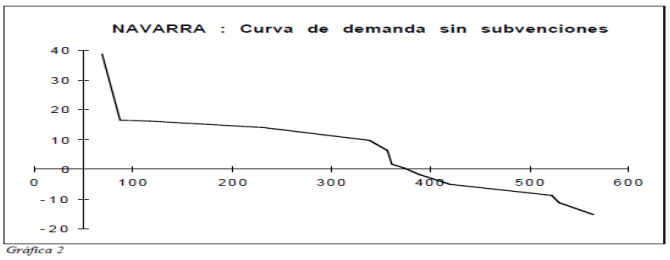
MATRIZ FODA

FACTORES INTERNOS / FACTORES EXTERNOS	Lista de Fortalezas **F1**. Excelente imagen **F2.** El 15% de los investigadores del SNI son politécnicos **F3.** El 90% de los docentes cuentan con licenciatura	Lista de Debilidades **D1**. Escasa vinculación con los sectores. **D2.** Los índices de eficiencia terminal son bajos. **D3.** La oferta del instituto está desfasada con la demanda.
Lista de Oportunidades **O1.** Cambio del perfil demográfico. **O2.** Demanda de cuadros calificados **O3.** Formulación de políticas de largo plazo	**FO (Maxi-Maxi)** ***Estrategia para maximizar tanto las F como las O.*** **1. Fortalecer el Programa de Formación Docente. (O1, O2, F1, F3)**	**DO (Mini-Maxi)** ***Estrategia para minimizar las D y maximizar las O.*** **1. Fortalecer los programas de vinculación (O1, O2, O3, D1, D3)**
Lista de Amenazas **A1.** En el NMS no existen procedimientos de evaluación diagnóstica **A2.** Jóvenes sin orientación vocacional **A3.** Tendencias preocupantes de desempleo y subempleo	**FA (Maxi-Mini)** ***Estrategia para fortalecer el Instituto y minimizar las amenazas.*** **1. Reactivar el Programa de Seguimiento de Egresados (F1, F3, A2, A3)**	**DA (Mini-Mini)** ***Estrategia para minimizar tanto las A como las D.*** **1. Revisión del Modelo Educativo de acuerdo a las necesidades productivas. (D1, D2, D3, A1, A2, A3)**

Figura 5. Ejemplo de aplicación del Análisis Matricial FODA

LECTURA 41	**TIPO de lectura: Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Arrojo Agudo, P., Bernal Cuenca, E., Fernández Comuñas, J., & López Gracia, J. M. El análisis coste-beneficio y su vigencia relativa en la valoración de grandes proyectos hidráulicos. Departamento de Análisis Económico, Universidad de Zaragoza.
Palabras claves:	• Análisis coste-beneficio • Proyectos hidráulicos • Evaluación económica • Regadíos • Impactos ambientales • Valoración económica • Proyectos de infraestructura hídrica.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 21. **Redacciones propias**	1.- “La técnica del estudio Coste-Beneficio es una herramienta usual en la economía tradicional que pretende valorar la rentabilidad de una determinada inversión.” 1.- “El análisis Coste-Beneficio pretende informar sobre la rentabilidad de una determinada propuesta de inversión.”

	1.- “Los balances de estos estudios Coste-Beneficio son demoledoramente negativos en los tres proyectos analizados.” 2.- El artículo analiza la aplicación del análisis coste-beneficio (ACB) en la evaluación de grandes proyectos hidráulicos destinados principalmente a la expansión del regadío. Los autores critican que este método, aplicado desde la economía tradicional, suele ignorar valores ambientales y sociales que no poseen precio de mercado. Se plantea que, aunque el análisis coste-beneficio puede ser útil para estimar la rentabilidad económica de las inversiones públicas, debe aplicarse con rigurosidad metodológica y complementarse con evaluaciones sociales y ambientales mediante enfoques multicriterio. El estudio aplica esta metodología a tres proyectos hidráulicos en España (Itoiz-Canal de Navarra, Biscarrués-Monegros II y Castrovido-Arlanza), encontrando resultados económicos negativos, lo que cuestiona la rentabilidad de este tipo de infraestructuras hidráulicas cuando se consideran adecuadamente los costes reales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Proporciona un marco metodológico para evaluar económicamente grandes proyectos hidráulicos. **Avalar:** Demuestra la importancia de aplicar correctamente el análisis económico coste-beneficio. **Complementar:** Introduce la necesidad de integrar variables sociales y ambientales en la evaluación de proyectos. **Definir:** Explica las etapas metodológicas del análisis coste-beneficio: identificación de costes y beneficios, valoración monetaria, actualización temporal, análisis de riesgo y cálculo de indicadores de rentabilidad. **Contrapropuesta:** Propone utilizar enfoques multicriterio para complementar la evaluación económica tradicional. **Otros aportes:** Cuestiona la rentabilidad económica de grandes proyectos hidráulicos orientados al regadío.

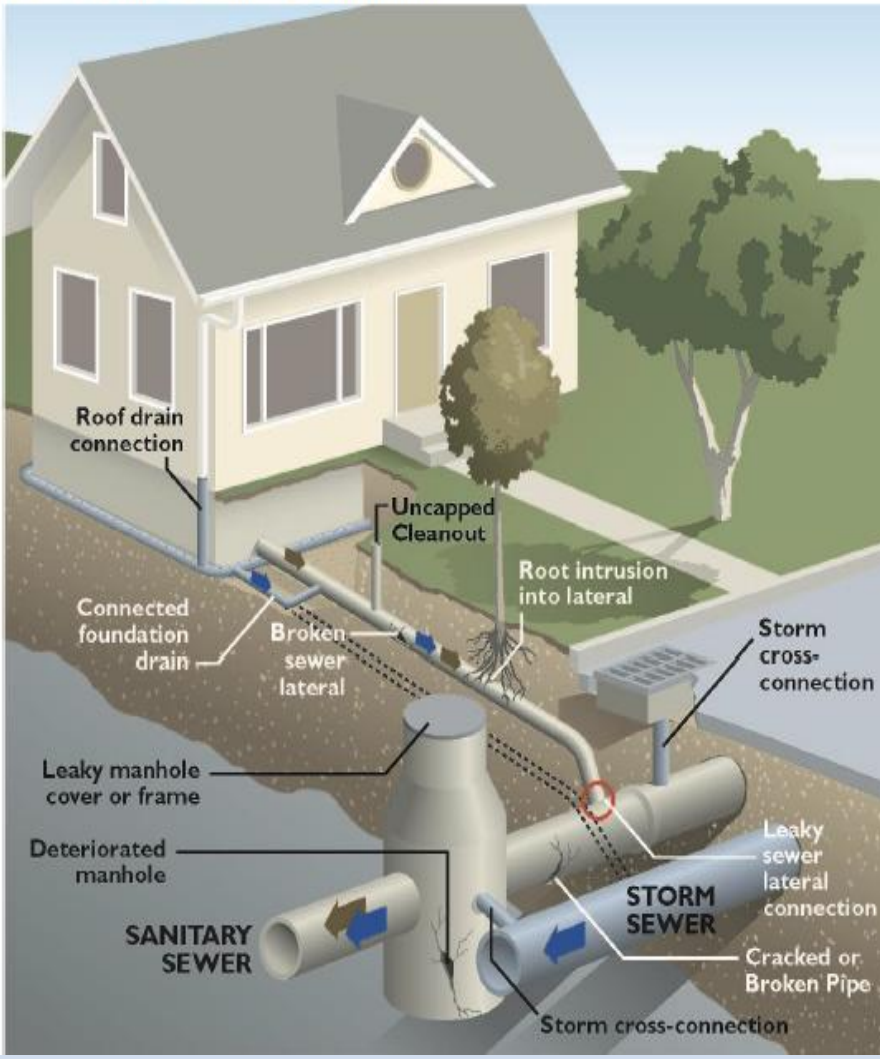
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	EL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO Y SU VIGENCIA RELATIVA…  *Gráfica 1*  *Gráfica 2*

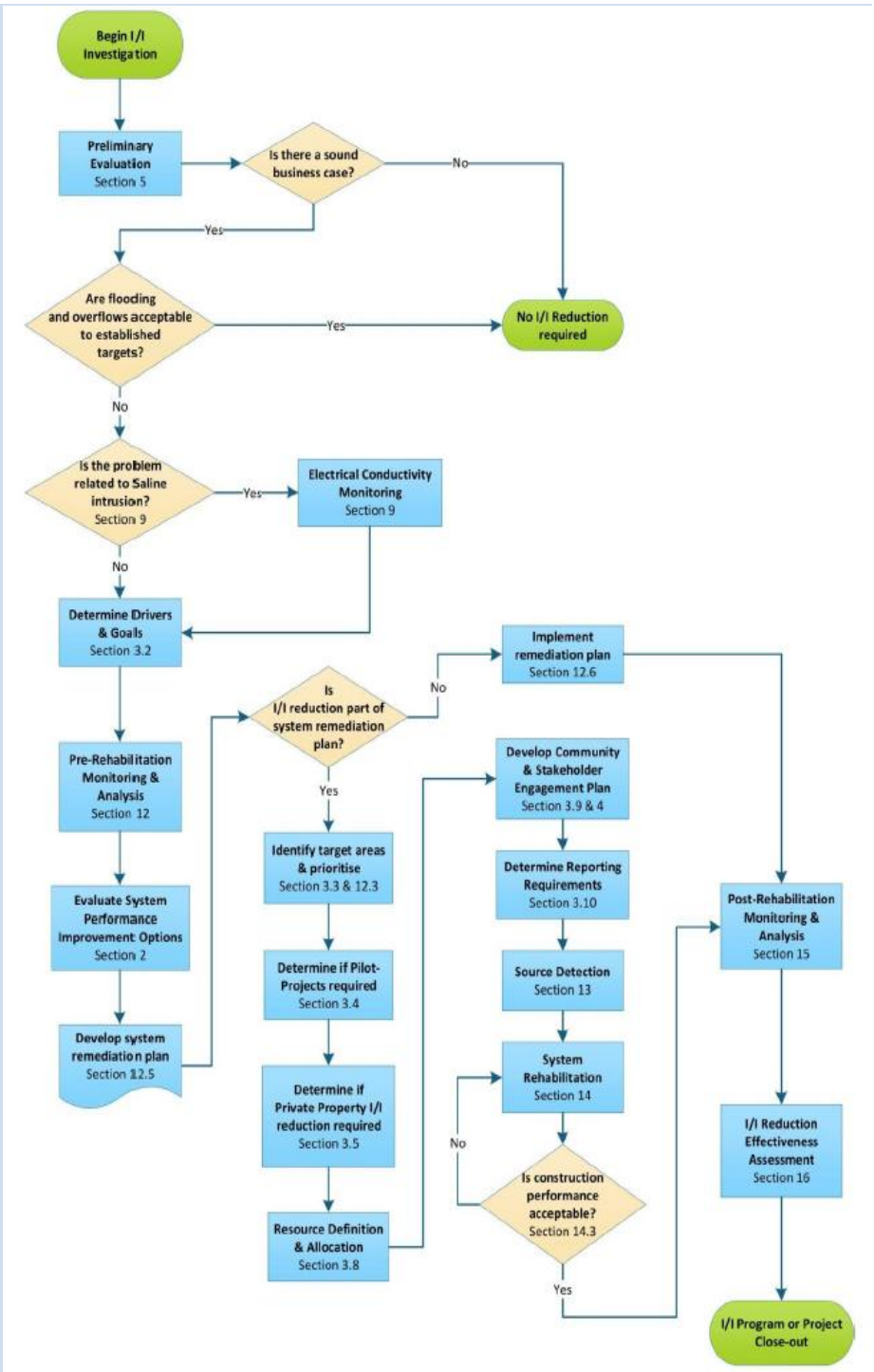
LECTURA 42	**TIPO de lectura: Complementaria**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Publicación realizada por la asociación "*Water New Zealand", 2da edición, marzo 2015. "Infiltration & Inflow Control Manual, Volume 2"*
Palabras claves:	• Afluencia de agua • Infiltración • Infiltración de aguas subterráneas. • Afluencia de aguas pluviales
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Metodología de Buenas Prácticas para la Reducción de Infiltraciones. Las actividades de detección de fuentes descritas aquí tienen como objetivo identificar las fuentes de infiltración con el fin de eliminarlas posteriormente mediante la corrección de su causa" 2.- Se presentan metodologías de detección de afluentes indebidos, basadas en pruebas en terreno como: • Inspección de cámaras. • Prueba de humo. • Prueba de tintes. • Inspección televisiva. • Simulación de lluvia. • Medición de la dilución • Monitoreo de la salinidad.

	1.- “proporciona tarifas indicativas para las técnicas de detección de fuentes, tal como se describió anteriormente en esta sección. Estas tarifas se proporcionan para fines de presupuestación inicial y no deben utilizarse para ningún otro propósito. Como es de esperar, dichas tarifas unitarias dependen en gran medida de las cantidades, las ubicaciones y la demanda del mercado en ese momento.” 2.- Se presentan además metodologías de rehabilitación de colectores, tales como: • Renovación a zanja abierta. • Curado in-situ del colector (CIPP). • Aplicación de revestimientos. • Revestimiento deslizante. • Revestimiento de ajuste cercano. • Revestimiento enrollado en espiral. • Reparaciones puntuales.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	• **Orientar**: Orienta la toma de decisiones en la aplicación del programa de inspecciones y rehabilitación de colectores. • **Avalar:** Avala la metodología de reducción de infiltración considerando el monitoreo de resultados, para determinar el caudal o porcentaje obtenido. • **Complementar**: Complementa la ejecución de los programas con un análisis económico, que ayuda a la toma de decisiones al momento de implementar el plan. • **Contrapropuesta**: proponer un enfoque planificado y preventivo basado en monitoreo continuo y rehabilitación de redes, en lugar de soluciones reactivas • **Otros aportes**: mejorar la eficiencia operativa, reducir costos, disminuir riesgos ambientales y optimizar la toma de decisiones en la gestión de redes sanitarias.

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros

Figure 1-2 Sources of Inflow & Infiltration




Begin I/I Investigation
Preliminary Evaluation Section 5
Is there a sound business case?
No
Yes
Are flooding and overflows acceptable to established targets?
Yes
No I/I Reduction required
No
Is the problem related to Saline intrusion? Section 9
Yes
Electrical Conductivity Monitoring Section 9
No
Determine Drivers & Goals Section 3.2
Pre-Rehabilitation Monitoring & Analysis Section 12
Evaluate System Performance Improvement Options Section 2
Develop system remediation plan Section 12.5
Is I/I reduction part of system remediation plan?
No
Yes
Implement remediation plan Section 12.6
Identify target areas & prioritise Section 3.3 & 12.3
Determine if Pilot-Projects required Section 3.4
Determine if Private Property I/I reduction required Section 3.5
Resource Definition & Allocation Section 3.8
Develop Community & Stakeholder Engagement Plan Section 3.9 & 4
Determine Reporting Requirements Section 3.10
Source Detection Section 13
System Rehabilitation Section 14
Is construction performance acceptable? Section 14.3
No
Yes
Post-Rehabilitation Monitoring & Analysis Section 15
I/I Reduction Effectiveness Assessment Section 16
I/I Program or Project Close-out

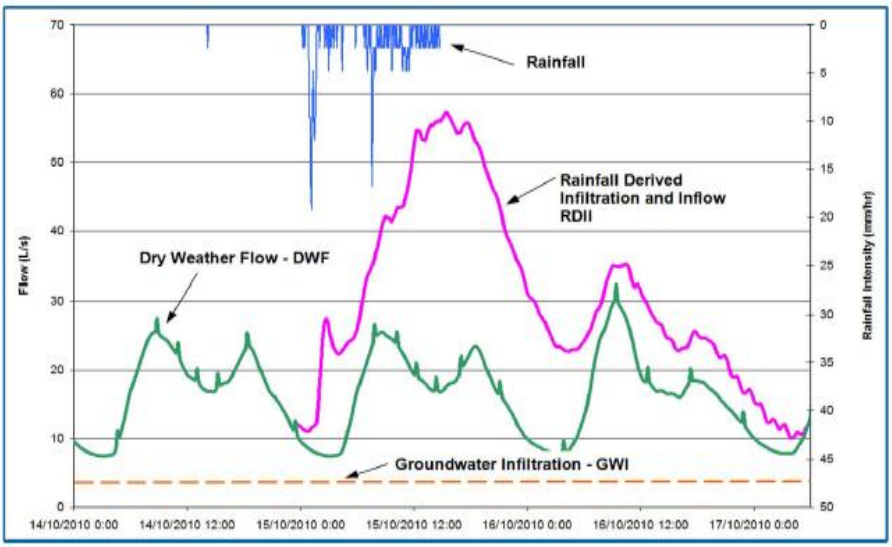


Figure 5-1 Wet-Weather Flow Components

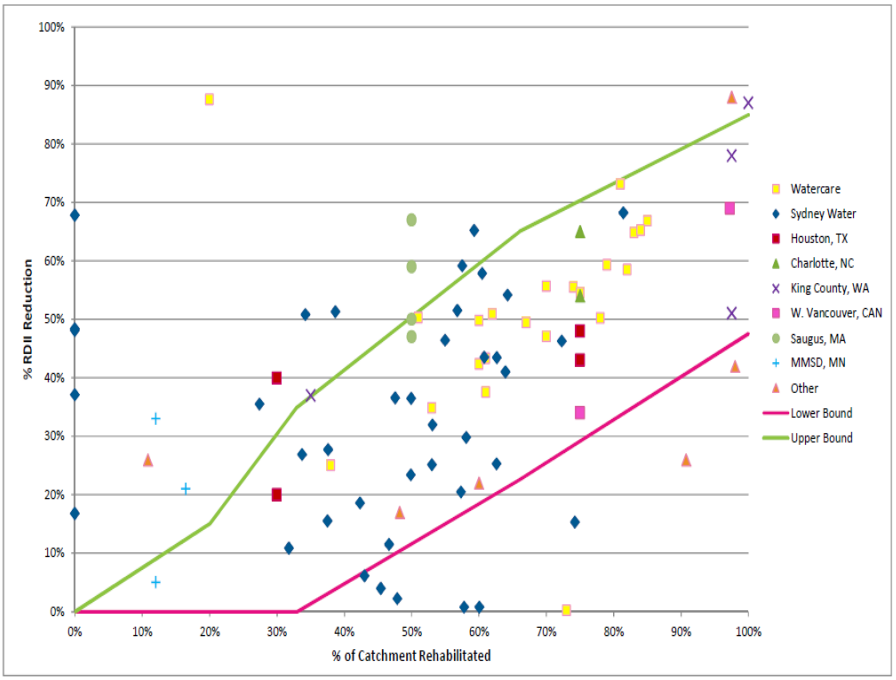
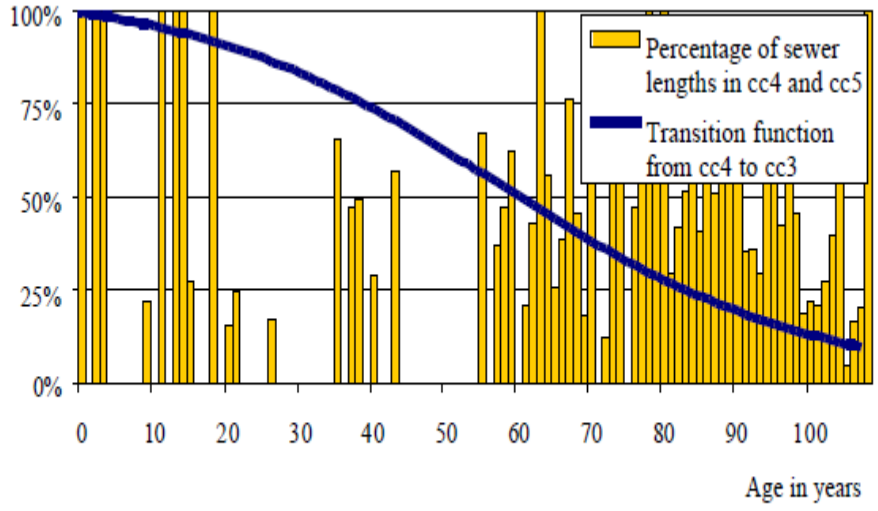


Figure 7-1 Various Project Results - RDII Reduction vs. Percent of Catchment Rehabilitated

LECTURA 43	TIPO de lectura: Específica
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico publicado en la revista "*Water Science and Technology", volumen 46, septiembre 2002. "Selective inspection planning with ageing forecast for sewer types"*
Palabras claves:	• Sistemas de alcantarillado • Envejecimiento • Rehabilitación • Planificación de inspecciones
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "En Alemania, la mayoría de los estados exigen la inspección de toda la red de alcantarillado una vez cada diez años. Esto significa que, en promedio, una alcantarilla debería inspeccionarse entre ocho y diez veces a lo largo de su vida útil. Al parecer, este es un estándar muy exigente y costoso, y sería muy ineficiente realizarlo a intervalos regulares y constantes en toda la red. 1.- "La eficiencia de la inspección de alcantarillado mejora considerablemente si las alcantarillas propensas a fallas se inspeccionan con mayor frecuencia y las demás con intervalos más amplios." 1.- "El proceso de deterioro de las alcantarillas se puede describir mediante un modelo de supervivencia de cohortes. En este modelo, las cohortes son alcantarillas construidas en el mismo período que comparten algunas características, como el material, el diámetro, la base y las características del subsuelo, que influyen en su vida útil. A lo largo de su vida útil, pasan por diferentes categorías de estado, desde el mejor hasta el peor." 2.- El modelo utiliza probabilidades de cohortes, con lo que se busca predecir cuándo una tubería alcanzará una condición crítica al representar su envejecimiento como un proceso probabilístico de transición entre distintas clases de estado (de bueno a malo), 2.- Para predecir el deterioro de las tuberías se utilizan funciones calibradas con datos de inspección; así, es posible estimar el momento más probable en que una tubería pasará a un nivel que requiere intervención, en lugar de esperar a que falle. 2.- Del modelo se puede planificar las inspecciones y rehabilitaciones de forma anticipada y focalizada, optimizando recursos y reduciendo riesgos, especialmente al ajustar las predicciones según el comportamiento real observado en cada tubería.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Se utilizan modelos predictivos para programar planes de inspección televisiva de colectores y planes de rehabilitación. **Complementar**: Aporta una metodología probabilística para predecir el daño de las tuberías de alcantarillado, lo cual puede ser utilizado en conjunto con las demás metodologías de gestión de redes de alcantarillado. **Definir**: Define herramientas para la toma de decisiones: ○ Modelo de supervivencia de Cohorte. ○ Funciones de transición. ○ Estimación de vida útil residual. ○ Cálculo de velocidad de envejecimiento. **Otros aportes**: redefine la gestión desde una lógica reactiva de análisis de datos para gestionar los planes de renovación a una lógica proactiva basada en riesgo.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 **Figure 2**: Calibrated transition function from cc4 to cc3, good to not so good

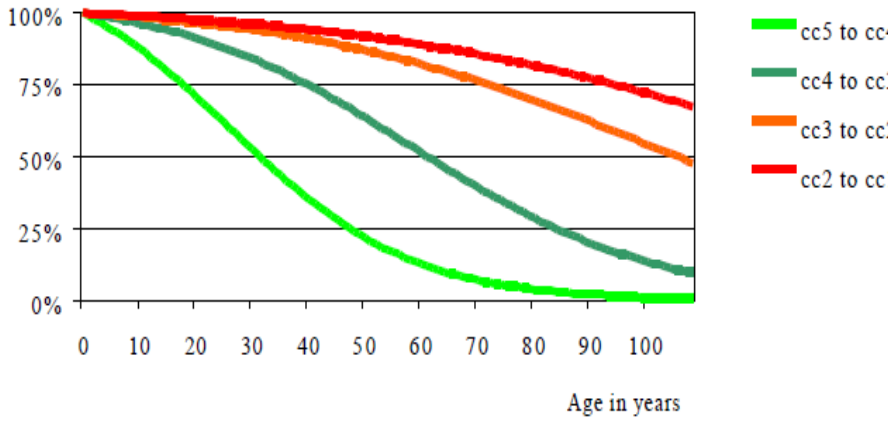


Figure 3: Transition functions for the Dresden sewer sample

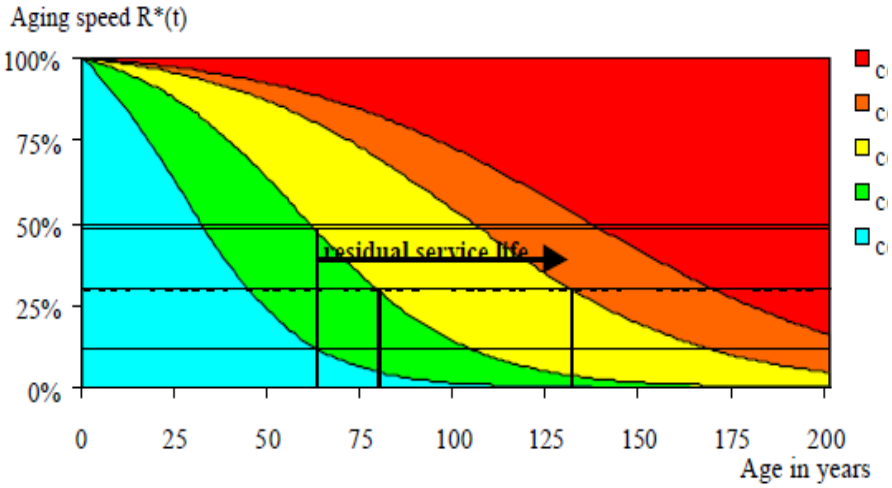


Figure 5: Aging speed and residual service life estimate

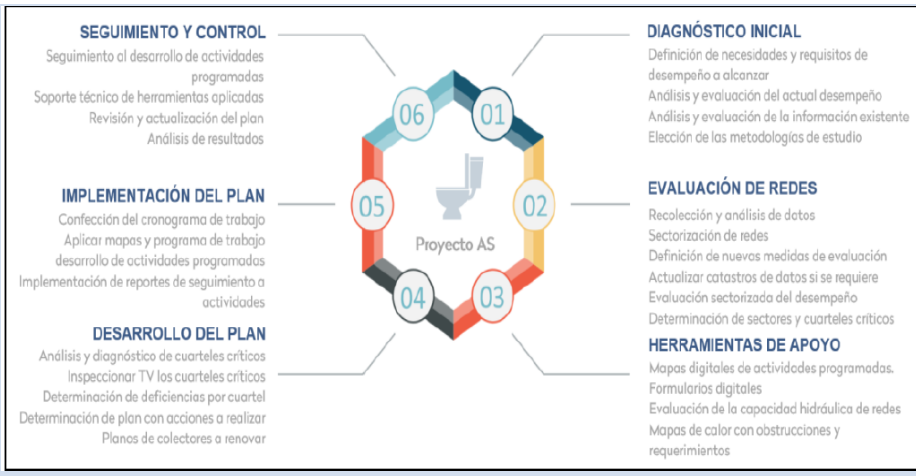
Table 2. Median age factors and transition ages for Dresden sewer types

Sewer type	$f_{a,type}$	$f_{a,3\rightarrow2,type}$	Median transition age in years			
			cc5 – cc4	cc4 – cc3	cc3 – cc2	cc2 – cc1
PVC	0.24	**0.35**	7	11	**36**	57
1940 – to date	0.30	**0.33**	8	13	**34**	52
circular	0.76	***0.80***	21	47	***83***	100
gradient > 5 %	0.78	**1.05**	28	64	**140**	511
waste water	0.85	**0.84**	26	53	**87**	108
∅ < 300mm	0.86	**0.88**	24	49	**91**	124
storm water	0.89	**0.94**	21	56	**98**	133
gradient < 1 %	0.90	**1.35**	23	44	**109**	681
in side streets	0.92	**0.93**	26	56	**97**	126
minor channel	0.95	**1.00**	24	56	**104**	142
in main streets	1.05	**1.04**	31	62	**108**	141
combined	1.06	**1.04**	33	62	**108**	142
main channel	1.06	**1.01**	29	78	**105**	129
∅ > 1000mm	1.08	**0.92**	43	81	**96**	99
1900 – 1940	1.11	**1.00**	42	65	**104**	131
300 mm < ∅ < 1000mm	1.18	**1.16**	33	67	**121**	178
stoneware	1.19	**1.52**	32	60	**158**	354
gradient < 5 %	1.20	**1.52**	36	74	**158**	993
concrete	1.25	**1.38**	33	74	**143**	485
egg-shaped	1.43	***1.39***	44	77	***145***	208
before 1900	1.66	**1.49**	48	81	**155**	309
average	1.00	**1.00**	29	60	**104**	135

LECTURA 44	**TIPO de lectura: Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, "*Diseño, Evaluación y Aplicación de una Metodología de Gestión Eficiente de las Redes de Aguas Servidas en la Localidad de Arica"*
Palabras claves:	• NASSCO • PACP • GIS • Ramales • Indicadores de desempeño • Obstrucciones
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "uno de los principales desafíos que enfrenta la industria sanitaria es la cantidad de obstrucciones registradas en la red, las que afectan la correcta evacuación de las aguas servidas, generando, en algunos casos, afloramientos en la vía pública, provocando molestias y daños a los usuarios"

	1.- “desarrolla una metodología de gestión para priorizar, diagnosticar y solucionar, los problemas que presentan las redes de aguas servidas, focalizando los trabajos en los sectores con mayor concentración de obstrucciones.” 1.- La tesis define ramales como unidad manejable de análisis, para así medir indicadores y evaluar los ramales con peor desempeño. 1.- Se define la tasa de obstrucciones de colector como la cantidad de obstrucciones registradas en los últimos 12 meses, por cada 100 km de red. 1.- Utilizando la herramienta Power BI se calcula la tasa de obstrucciones de todos los ramales de la localidad de Arica, identificando los 5 ramales con peor desempeño o mayor cantidad de eventos. 1.- Finalmente la metodología presenta una propuesta de evaluación de estos 5 ramales críticos, realizando inspección televisiva de estos y modelos hidráulicos, para identificar los colectores con defectos que estén generando las obstrucciones en el sector.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: La tesis entrega una estructura clara de cómo abordar la gestión de redes de alcantarillado. o Cómo sectorizar la red (ramales de 500 m). o Cómo priorizar problemas mediante indicadores. o Cómo pasar de reacción → planificación y ejecución. **Avalar**: respalda la hipótesis de que las obstrucciones son el principal problema operativo de las redes de alcantarillado, y que la gestión eficiente requiere uso de datos e indicadores. **Complementar:** Se complementa con herramientas que sirven para el análisis y gestión de la información, como: GIS, Inspección televisiva de colectores, Mapas de calor y PowerBI. **Definir:** Define una metodología de gestión aplicada directamente a la localidad de Arica, utilizando ideas clave como: o Tasa de obstrucciones de colector o Ramales como unidad de análisis o Clasificación de fallas como operacionales y estructurales

Materiales más significantes:
Tablas
Gráficos
Ejemplos
Fotografías
Mapas
Otros



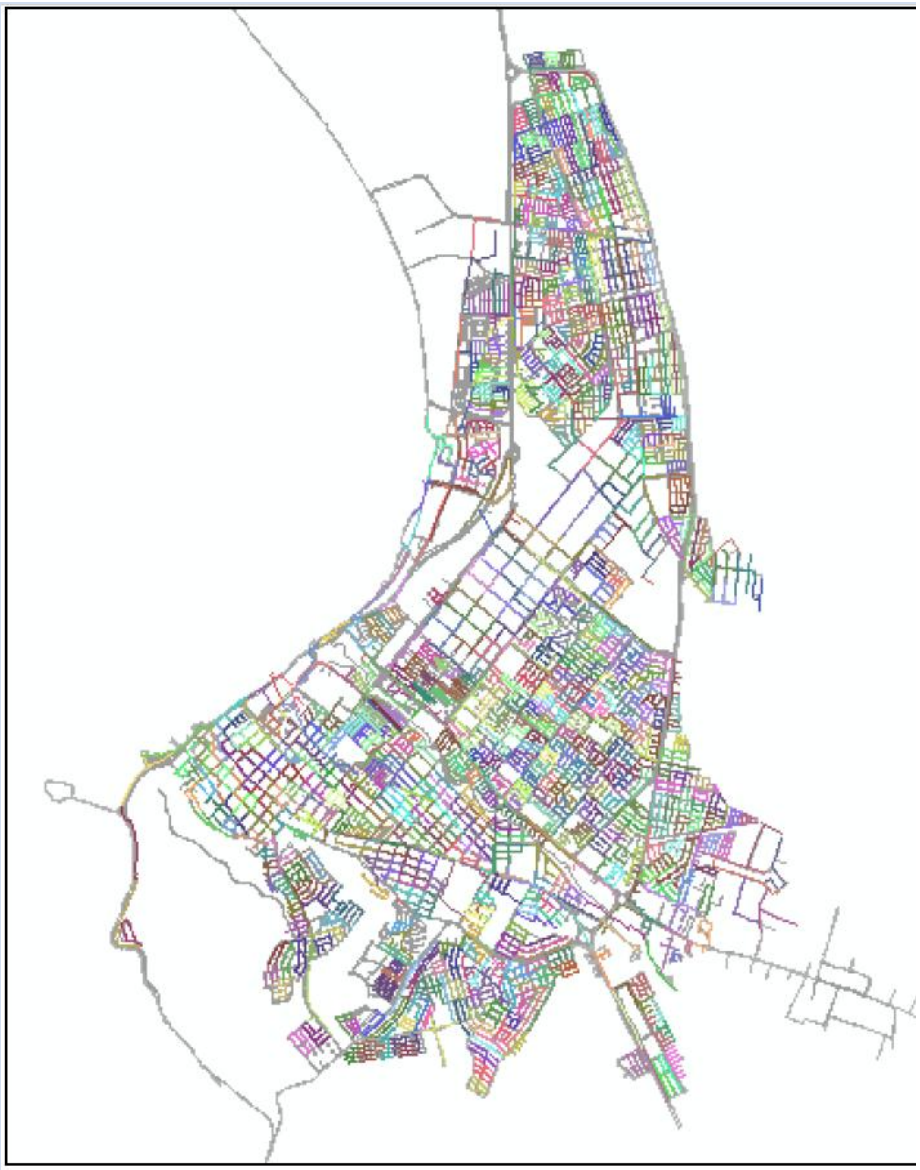


Figura 4-8: Redes de recolección tematizada por cada ramal de red.
Fuente: Modificación de GIS, representado en Arcmap

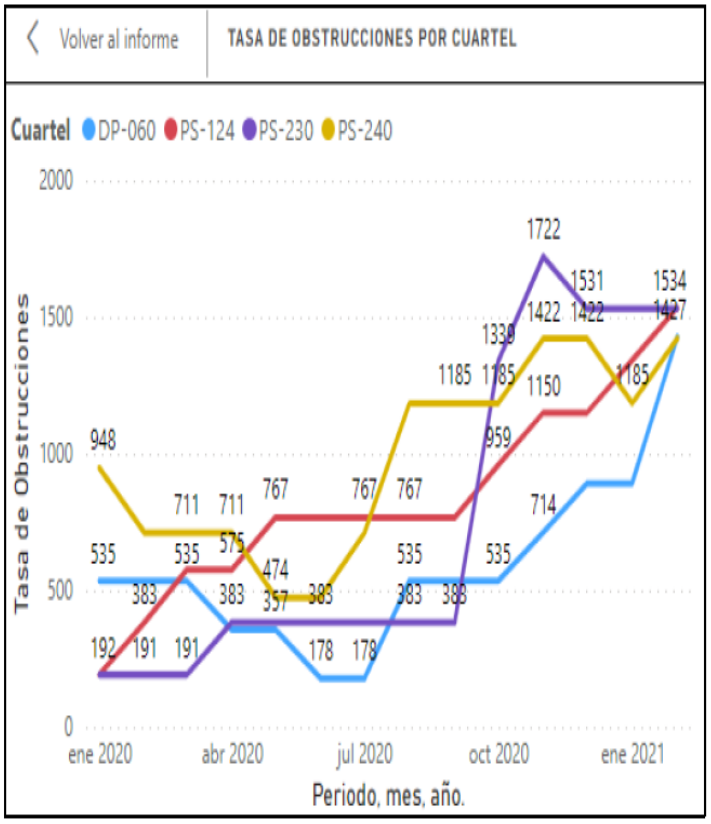


Figura 4-12: Evolución en el tiempo de las tasas de obstrucciones de los 5 ramales con mayor concentración de eventos.
Fuente: Elaboración propia, utilizando Power BI

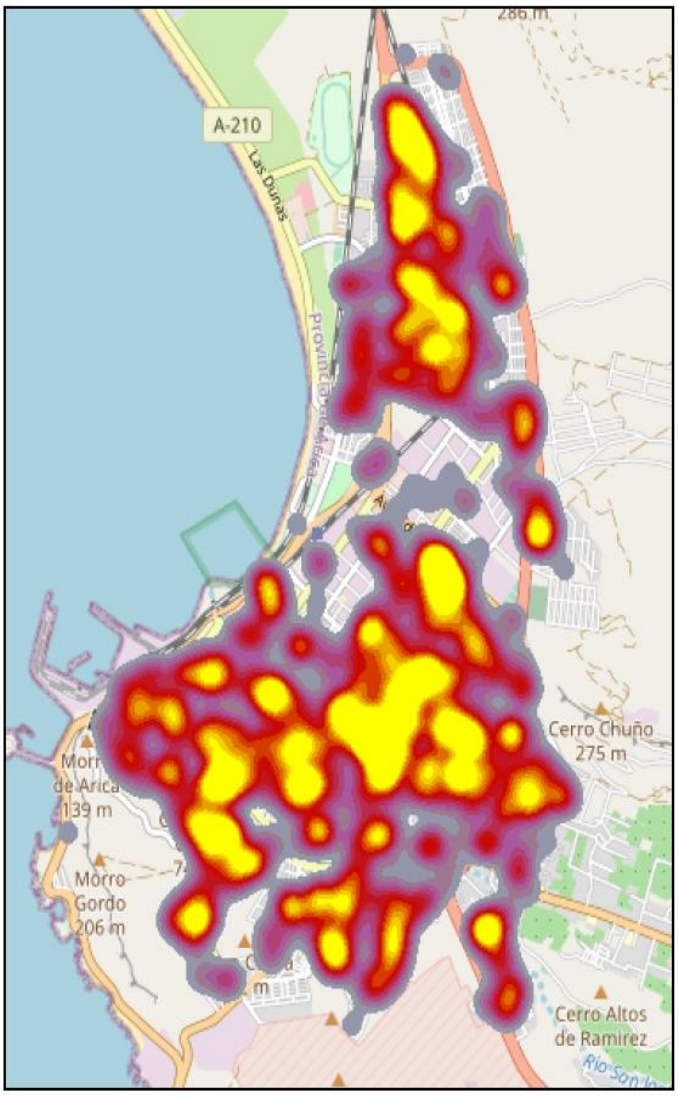


Figura 4-16: Mapa de calor con las obstrucciones registradas durante el 2020
Fuente: Elaboración propia, utilizando la herramienta de Power BI.

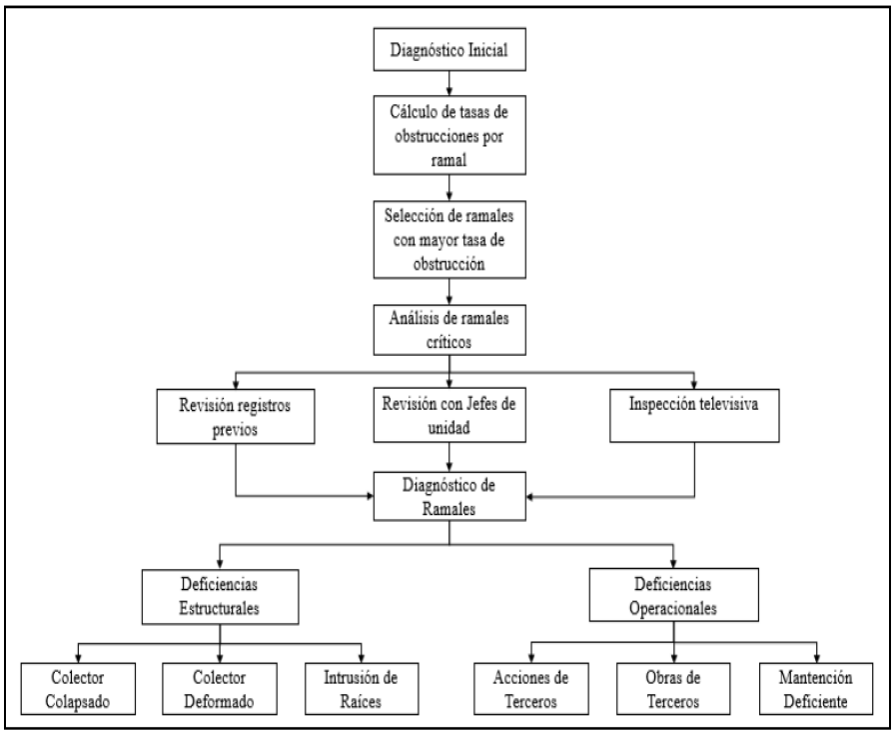


Figura 4-18: Diagrama de flujo del plan de gestión.
Fuente: Elaboración propia.

LECTURA 45	**TIPO de lectura: Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Javeriana, "*Herramientas Para La Toma De Decisiones En La Gestión De Alcantarillados: Prospectivas De Implementación En La Eaab"*
Palabras claves:	• Rehabilitación • Renovación • Reparación • Reemplazo • Mantenimiento • Gestión Patrimonial
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** **2. Redacciones propias**	1.- "Debido a los altos costos que implica reemplazar infraestructura que se encuentra en un estado de falla, se deben tomar acciones enfocadas a la rehabilitación preventiva y/o mejoras de dicha infraestructura para prolongar su vida útil. Este proceder es conocido como gestión patrimonial" 2.- El documento identifica los problemas claves en las redes de alcantarillado, destacando obstrucciones, intrusión de raíces, roturas,

	conexiones cruzadas con redes pluviales, infiltración, deformaciones, entre otras. 1.- “el principal objetivo de los gestores debe ser identificar la forma más rentable de garantizar un servicio de alta calidad a los usuarios (Institute for Public Policy Research, 2001), de manera que se reduzcan los costos de operación y aumente la capacidad y fiabilidad de los sistemas.” 1.- Se identifican los principales métodos de inspección del sistema de alcantarillado, destacando, la inspección visual, la inspección tv convencional, estacionario (pértiga), asistido por computadora, inspección con láser, ultrasonido (SONAR), frecuencia natural de vibraciones, análisis espectral, georradar, sistema Karo y sistema Pirat. 1.- se hace un barrido de herramientas probabilísticas para predecir el deterioro de la red de alcantarillado, destacando: • Distribución de Hertz. • Programación Lineal • Series de tiempo • Sistema de interferencia difusa. • Simulación de Monte Carlo • Cadenas de Markov 2.- “El uso de este tipo de herramienta permite al usuario utilizar grandes cantidades de datos, para su visualización, modelación y evaluación. Estas herramientas pueden ser agrupadas en: base de datos, Sistema de Información Geográfica (SIG), modelos y paquetes integrados” 1.- En la tesis se desarrollan modelos de gestión de desempeño, como los modelos de: • Modelos de análisis de desempeño: ○ Modelo de Baik ○ Modelo Bengassem & Bennis ○ Modelo Hasewaga • Herramientas de análisis de decisión. ○ Modelo Aqua-Wertmin ○ Modelo Edmonton ○ Modelo Prism ○ Modelo Kure-Cad ○ Modelo Apogee • Herramientas para la gestión integral ○ Modelo Care-S ○ Modelo Hydroplan

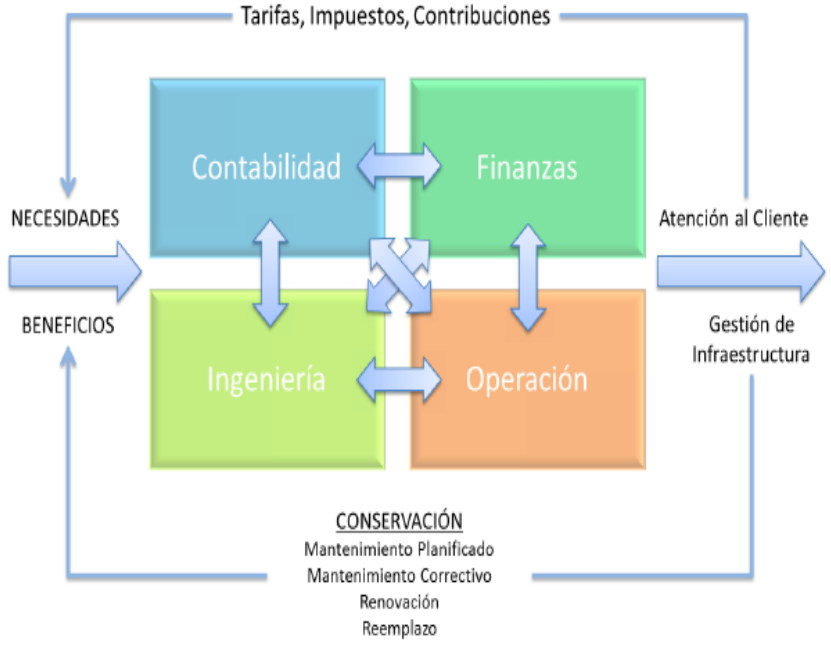
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar**: Orienta la investigación hacia una gestión predictiva basada en simulación, donde el foco no es solo el estado actual de la red, sino su evolución futura bajo incertidumbre. **Avalar**: Avala el uso de modelos probabilísticos y simulación basada en reglas como herramientas válidas para la gestión de infraestructura. **Complementar:** complementar los métodos de inspección visual de diagnóstico de redes, con modelos predictivos, y modelos económicos para la toma de decisiones. **Definir:** Permite definir conceptos metodológicos clave: ○ modelos predictivos de deterioro ○ simulación basada en reglas ○ probabilidades de transición de estado ○ integración técnico-económica ○ planificación de mantenimiento **Otros aportes:** Integra predicción + costos, Introduce manejo explícito de incertidumbre, permite planificación de inversiones a largo plazo.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Figura 2.11: Configuración de un sistema de gestión patrimonial (modificado de CDM, 2006).

Tabla 3.1: Herramientas de inspección de sistemas de alcantarillado (Los Autores).

MÉTODO		DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	REFERENCIAS
Inspección Visual		Inspección directa por medio de registro fotográfico. Examina condición de las paredes de la tubería.	1. Realiza diagnóstico estructural de toda la tubería. 2. Evalúa toda la longitud del alcantarillado. 3. Menos costos que el sistema CCTV convencional.	1. Seguridad antes y durante la inspección de la persona encargada de hacer el reconocimiento visual.	▪ (Wirahidikusumah *et al.* 1998) Descripción completa.
Sistema de Circuito cerrado de Televisión CCTV	Convencional	Inspección mediante cámara de televisión y monitor. Información grabada en archivos de video. Examina condición de las paredes de la tubería.	1. Evalúa toda la longitud del alcantarillado. 2. Relativamente más económico con relación a las demás herramientas de este grupo. 3. Técnica tipo usada en el mundo.	1. Depende de la interpretación del operador. 2. Pasa por alto los defectos que están detrás de obstáculos o debajo del agua.	▪ (Sinha & Knight, 2004) ▪ (Fenner, 2000) Descripción completa de la metodología.
	Estacionario	Inspección mediante cámaras de video en la boca de los pozos de inspección. Examina la condición de las paredes de la tubería.	1. Puede complementar a otras técnicas de inspección. 2. Más económico que el sistema CCTV convencional	Mismas que el sistema CCTV convencional y además: 3. Alcance limitado en cuanto a la distancia de inspección.	▪ (Makar, 1999) ▪ (Sinha & Knight, 2004) Descripción completa de la metodología.
	Asistido por computador	Utiliza sistemas informáticos en identificación y clasificación de defectos registrados por la cámara. Examina la condición de las paredes de la tubería.	Mismas que el sistema CCTV convencional y además: 4. Reduce errores del operador. 5. Reduce tiempos de inspección. 6. Mayor precisión en detección de los defectos.	Mismas que el sistema CCTV convencional y además: 3. Aumento de tiempo en recopilación de datos. 4. Mayores costos que el sistema CCTV convencional. 5. Disponible para diámetros pequeños.	▪ (Chae & Abraham, 2001) ▪ (Moselhi & Shehab-Eldeen, 1999) ▪ (Wirahidikusumah *et al.* 1998) ▪ (Makar, 1999) Descripción completa de la metodología.
Escaneo Láser		Evalúa forma y condiciones de las paredes de la tubería. Información de fácil registro y análisis por computador.	1. Registro automático de datos. 2. Análisis computarizado. 3. Evalúa toda la longitud de la tubería. 4. Reduce tiempos de interpretación de datos.	1. Disponible para diámetros pequeños. 2. Sólo detecta daños por encima de la línea de agua. 3. Mayores costos que el sistema CCTV convencional.	▪ (Hibino *et al.* 1994) ▪ (Sinha & Knight, 2004) ▪ (Makar, 1999) Descripción completa de la metodología.
Ultrasonido (SONAR)		Se emite una onda de sonido y refleja si hay cambio en la densidad del material, por medio del tiempo en que tarda en regresar dicha onda. Examina condición de las paredes de la tubería y sus deformaciones.	1. Evalúa la totalidad del diámetro y longitud de la tubería. 2. Registra los datos automáticamente. 3. Elimina errores del operador. 4. Reduce tiempos de interpretación.	1. Dificultad para detectar áreas de agrietamiento que están en la dirección de la onda. 2. Limpieza de la tubería necesaria antes de la inspección para obtener mejores resultados. 3. Mayores costos que el sistema CCTV convencional.	▪ (Burks & Green, 1991) ▪ (Sinha & Knight, 2004) ▪ (Bhardwaj, 2001) ▪ (Wirahidikusumah *et al.* 1998) Descripción completa de la metodología.
Micro-Desviaciones		Inspección mediante micro deflector colocado en la pared interior de la tubería, se aplica una presión y se mide el cambio de posición respecto a la presión aplicada. Reconoce principalmente el comportamiento de la tubería en general. No encuentra defectos puntuales en ella.	1. Evalúa toda la longitud de la tubería. 2. Da una medida directa de la condición estructural de la tubería. 3. Los resultados no se ven afectados por la condición del suelo circundante. 4. Disponible para diámetros de hasta 600 a 900 mm.	1. Disponible solo para tuberías en material rígido. 2. Mayores costos que el sistema CCTV convencional. 3. No detecta daños puntuales.	▪ (Makar, 1999) Descripción completa de la metodología.
Frecuencia Natural de Vibración		Inspección realizada mediante la aplicación de vibraciones a diferentes frecuencias en la pared de la tubería. La desviación en la frecuencia indica algún problema en la red. Identifica problemas en la condición de las paredes de la tubería y del relleno sobre el que se encuentra.	1. Evalúa toda la longitud de la tubería. 2. Capaz de dar un diagnóstico de la tubería sin necesidad de viajar a través de ella. 3. Disponible para diámetros de hasta 600 a 900 mm.	1. Requiere limpieza previa de la tubería. 2. No detecta daños puntuales. 3. Mayores costos que el sistema CCTV convencional. 4.La cantidad de agua y las condiciones del suelo afectan los resultados	▪ (Makar, 1999) Descripción completa de la metodología, ventajas y desventajas.
Eco Impacto		Inspección realizada mediante un martillo neumático que produce ondas superficiales al golpear la pared de la tubería, las ondas son detectadas por un geófono, el cual evalúa la condición de la tubería. Identifica problemas en la condición de las paredes de la tubería y del relleno sobre el que se encuentra.	1. Detecta vacíos en el suelo alrededor de la tubería. 2. Evalúa toda la longitud de la tubería. 3. Realiza diagnóstico estructural de toda la tubería.	1. Se pueden mezclar los resultados de la estructura de la pared y el relleno. 2. Opera con un equipo manual. 3. Requiere limpieza previa de la tubería. 4. Disponible para grandes diámetros.	▪ (Makar, 1999) Descripción completa de la metodología, ventajas y desventajas.

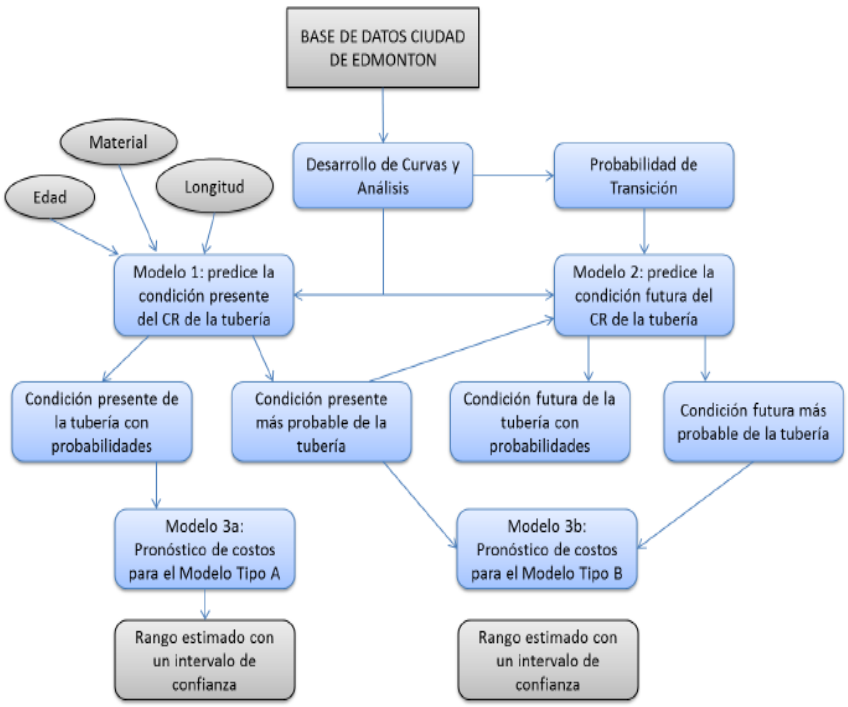


Figura 4.3: Estructura de la simulación basada en análisis de probabilidad (modificado de Ruwanpura *et al.*, 2004)

Tabla 5.12: Datos de la tubería requeridos por cada Herramienta (modificado de Ana & Bauwens, 2007).

MODELOS	DATOS DISPONIBLES	VARIABLES DE ENTRADA															
		DATOS DE TUBERÍA															
		Material	*Edad*	*Longitud*	*Diámetro*	*Espesor*	*Sección Transv.*	*Profundidad*	*Tipo*	*Rugosidad*	*Pendiente*	*Localización*	*Estado*	*Historial de falla*	*Flujo*	*Tasas de Infiltración/ Exfiltración*	*Tipo de Conexiones*
PRISM	6/8	X	X	X	X			X	X				X				
Bengassem & Bennis	7/10			X	X			X			X	X	X	X	X		
Baik	8/13	X	X	X	X			X	X		X		X		X	X	
Aqua-Wertmin	11/16	X	X	X	X		X		X		X	X	X	X		X	X
Edmonton	6/9	X	X	X	X			X					X				
CARE-S	14/24	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hydroplan	-	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X		X		

Datos Disponibles por la EAAB

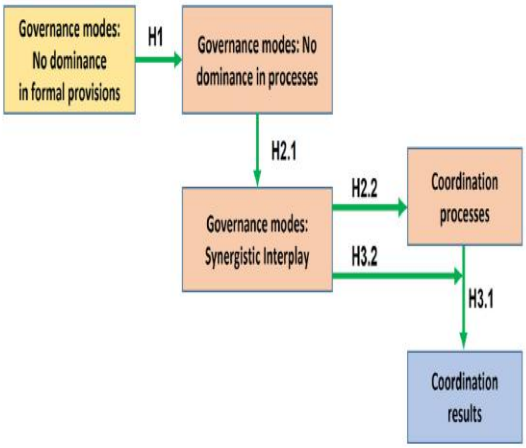
Tabla 5.13: Datos del entorno y socio-económicos requeridos por cada herramienta (modificado de Ana & Bauwens, 2007).

MODELOS	VARIABLES DE ENTRADA								
	DATOS DE ENTORNO						DATOS SOCIO-ECONÓMICOS		
	Tipo de Suelo	*Usos del Suelo*	*Trafico/Tipo de Via*	*Localización de Arboles*	*Nivel de Aguas Subterráneas*	*Información Geotécnica*	*Población Servida*	*Presupuesto*	*Costos Técnicas de Rehabilitación*
PRISM									X
Bengassem & Bennis	X					X			
Baik	X		X		X				
Aqua-Wertmin	X		X					X	X
Edmonton	X					X			X
CARE-S	X	X	X	X	X		X	X	X
Hydroplan	X	X	X	X			X		X

Datos Disponibles por la EAAB

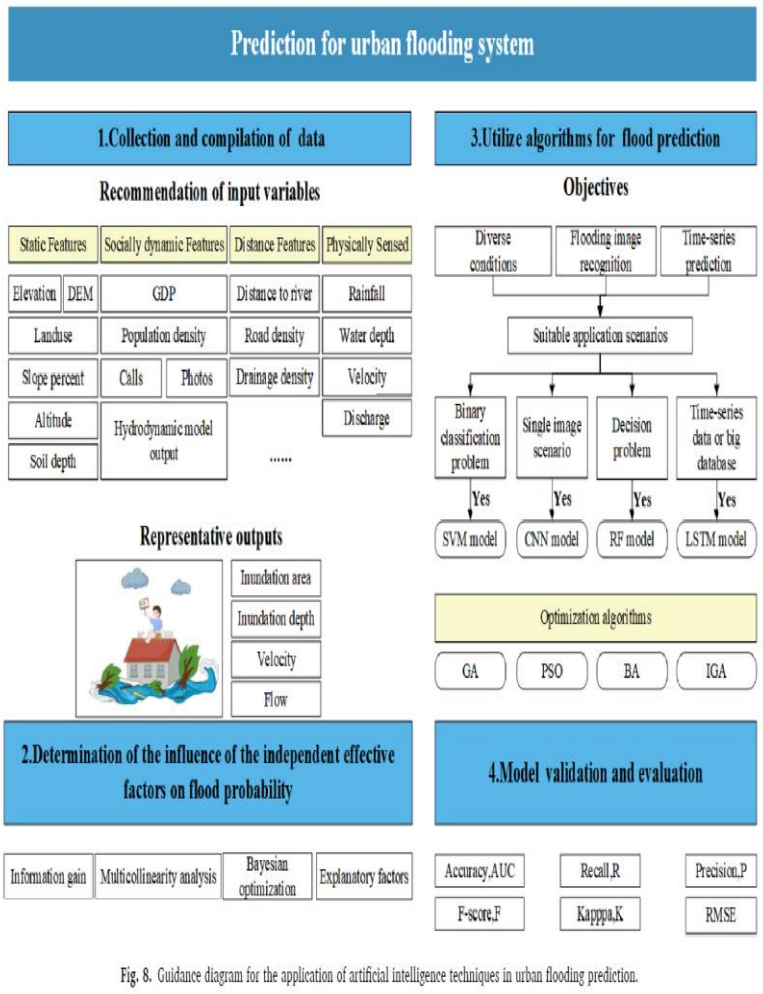
LECTURA 46	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Artículo científico sobre acción colectiva para la protección de cuencas de agua potable utilizando el marco de Sistemas Socio-Ecológicos (SES) y la economía de costos de transacción. Revista Global Environmental Change.
Palabras claves:	• Acción colectiva • Gobernanza del agua • Protección de cuencas • Sistemas socio-ecológicos (SES) • Economía de costos de transacción • Gestión de recursos hídricos • Cooperación institucional.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 22. **Redacciones propias**	1.- “Comprender las condiciones bajo las cuales las herramientas regulatorias proporcionan incentivos o desincentivos para la acción colectiva voluntaria contribuiría al diseño de combinaciones eficientes de políticas.” 1.- “La combinación de la economía de costos de transacción y el marco de sistemas socio-ecológicos resultó útil para explicar los resultados de la acción colectiva.”

	1.- “El enfoque cualitativo permitió identificar las interdependencias entre las variables que afectan la cooperación entre los actores.” 2.- El artículo analiza los factores que influyen en la cooperación entre actores involucrados en la protección de cuencas de agua potable. Para ello, combina dos enfoques teóricos: la economía de costos de transacción, que permite analizar los costos y beneficios asociados a la cooperación entre actores, y el marco de sistemas socio-ecológicos (SES), que estructura el análisis de variables institucionales, sociales y ambientales. El estudio utiliza un enfoque de estudios de caso cualitativos para analizar procesos de cooperación entre agricultores y organismos responsables de la gestión del agua en Francia. Los resultados muestran que la cooperación depende de factores como la legitimidad de las regulaciones, los incentivos económicos, los costos de coordinación y las relaciones institucionales entre actores.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Aporta un marco conceptual para analizar la gobernanza y cooperación en la gestión del agua. **Avalar:** Respalda el uso del enfoque de sistemas socio-ecológicos en estudios de gestión de recursos hídricos. **Complementar:** Integra variables institucionales, económicas y sociales en el análisis de la gestión del agua. **Definir:** Explica el rol de la acción colectiva en la protección de recursos hídricos. **Contrapropuesta:** Propone combinar diferentes enfoques teóricos (SES y economía institucional) para estudiar la gobernanza del agua. **Otros aportes:** Identifica factores que influyen en la cooperación entre actores para la protección de cuencas.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 
	 Table 1 Difference between the three ideal-typical governance modes along with indicators (adapted from Pahl-Wostl et al., 2019). Hierarchy / Network / Market Actors: Government authorities / State and non-state actors / Non-state actors Motive of sub-ordinate actor: Fear of punishment / Belonging to group / Material benefit Roles of government: Government rules society / Government is partner in a network society / Government delivers services to society Choice of actors: Controlled by written rules / Free, ruled by trust and reciprocity / Free, ruled by price and negotiation Steering: Authority / Trust / Price Roles of knowledge: Expertise for effectiveness of ruling / Knowledge as shared good / Knowledge for competitive advantage Knowledge generation: Technocratic focus; Only technical experts involved / Knowledge generation as part of group building process; Different types of knowledge acknowledged; Broad sharing of knowledge / Knowledge serves to increase competitive advantage. Conflict resolution: Jurisdiction; Legal procedures / Mediation; Aim for consensus / Survival of the fittest; Compensation payments Monitoring & evaluation: Compliance with regulation and quantifiable standards; Rigid in terms of learning / Participatory; Reflection on agreed goals; Openness to adaptive approaches – change negotiated. / Cost-benefit calculations; Rapid changes in individual strategies if needed to increase profitability.

LECTURA 47	TIPO de lectura: Complementaria
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Li, Z. et al. (2025). Artificial Intelligence-Based Urban Flood Forecasting: A Systematic Review of Models and Applications. *Environmental Modelling & Software*, 192, 106525.
Palabras claves:	• Inundaciones urbanas • Inteligencia artificial • Aprendizaje automático • Deep learning • Modelación hidrológica • Predicción de inundaciones • Redes neuronales • Gestión del riesgo.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 23. **Redacciones propias**	1.- “Este estudio revisa la aplicación de tecnologías de inteligencia artificial para la predicción de inundaciones urbanas.” 1.- “Los modelos ampliamente utilizados incluyen CNN, Random Forest, LSTM y SVM.” 1.- “El volumen de literatura sobre predicción de inundaciones urbanas ha mostrado un crecimiento acelerado en los últimos años.” 2.- El artículo presenta una revisión sistemática del uso de algoritmos de inteligencia artificial aplicados a la predicción de inundaciones urbanas. El estudio analiza investigaciones publicadas entre 2004 y 2024, recopilando un total de 181 artículos seleccionados mediante el método PRISMA. La revisión identifica las principales técnicas utilizadas en la predicción de inundaciones urbanas, incluyendo algoritmos de aprendizaje automático como Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF) y métodos de aprendizaje profundo como Convolutional Neural Networks (CNN) y Long Short-Term Memory (LSTM). El análisis muestra una evolución en el uso de técnicas de modelación, pasando de métodos estadísticos tradicionales hacia modelos de aprendizaje profundo capaces de capturar relaciones espaciales y temporales complejas. Asimismo, el estudio destaca la importancia de integrar datos hidrológicos, meteorológicos, topográficos y urbanos para mejorar la precisión de los modelos predictivos.

Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Proporciona una visión general del estado actual de la investigación en modelación de inundaciones urbanas. **Avalar:** Respalda el uso de herramientas de inteligencia artificial para mejorar la predicción y gestión de riesgos hídricos. **Complementar:** Aporta metodologías avanzadas de análisis de datos aplicadas a sistemas hidráulicos. **Definir:** Explica los principales algoritmos utilizados en modelación hidrológica basada en inteligencia artificial. **Contrapropuesta:** Sugiere integrar modelos de inteligencia artificial con sistemas tradicionales de modelación hidrológica. **Otros aportes:** Identifica tendencias futuras en el desarrollo de herramientas de predicción para eventos hidrológicos extremos.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	 Fig. 8. Guidance diagram for the application of artificial intelligence techniques in urban flooding prediction.

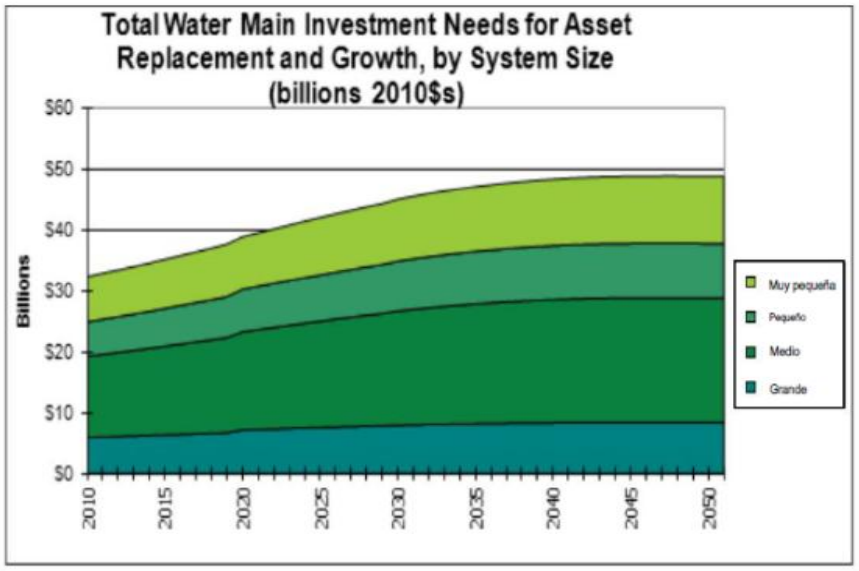
LECTURA 48	**TIPO de lectura: Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	N. Caradot, M. Riechel, M. Fesneau, N. Hernandez, A. Torre, H. Sonnenberg, E. Eckert, N. Lengemann, J. Waschnewski y P. Rouault, (2018). *Practical benchmarking of statistical and machine learning models* *for predicting the condition of sewer pipes in berlin, Germany.*
Palabras claves:	• Gestión de activos • CCTV • Aprendizajes Automáticos • Alcantarillado
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”**	1.- “En el documento se señala que existe una insuficiente inversión pública y municipal**,** lo que constituye un desafío significativo para la gestión sostenible de las redes de alcantarillado. Esta situación no es exclusiva del contexto local, sino que también ha sido identificada en países como Estados Unidos, donde se enfrentan problemáticas similares en la mantención y renovación de la infraestructura sanitaria.

24. **Redacciones propias**	Asimismo, se destaca la falta de métricas e indicadores de desempeño adecuadamente adaptados a las realidades y problemáticas específicas de las empresas de servicios públicos**,** lo que dificulta la evaluación integral de los modelos de gestión implementados y limita la capacidad de orientar de manera eficiente la toma de decisiones y la priorización de inversiones. 2.- El documento plantea que la limitada inversión pública y municipal constituye uno de los principales obstáculos para alcanzar una gestión sostenible de las redes de alcantarillado. Esta problemática no se circunscribe únicamente al ámbito local, sino que también ha sido identificada en países como Estados Unidos, donde diversos estudios evidencian dificultades similares relacionadas con la insuficiencia de recursos destinados a la mantención, rehabilitación y renovación de la infraestructura sanitaria. Adicionalmente, se destaca la ausencia de métricas e indicadores de desempeño específicamente diseñados para abordar las particularidades operativas y de gestión de las empresas de servicios públicos. Esta carencia limita la capacidad de evaluar de manera integral la efectividad de los modelos utilizados para la planificación y gestión de las redes de alcantarillado. En consecuencia, se generan restricciones para sustentar de forma objetiva los procesos de toma de decisiones, especialmente en lo relativo a la priorización de inversiones, la definición de estrategias de mantenimiento y la implementación de políticas orientadas a mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Proporcionar criterios técnicos que permitan orientar la toma de decisiones en la planificación de mantenimiento, rehabilitación o renovación de colectores. **Avalar:** Entregar evidencia cuantitativa que permita respaldar, o eventualmente cuestionar, el uso de modelos de deterioro como herramienta de apoyo en la gestión de activos de las redes sanitarias. **Complementar:** Integrar nuevas métricas al sistema de información existente, complementando los indicadores tradicionales con variables que reflejen mejor el impacto del desempeño de la red en los usuarios. **Definir:** Establecer un conjunto de indicadores y parámetros que permitan evaluar de manera más objetiva la condición de los colectores y la efectividad de los modelos de deterioro aplicados. **Contrapropuesta:** En caso de detectarse limitaciones en los modelos utilizados, proponer ajustes metodológicos o enfoques alternativos que permitan mejorar la evaluación y priorización de intervenciones en la red. **Otros aportes:** Contribuir al fortalecimiento del proceso de gestión de activos mediante el uso de herramientas analíticas basadas en datos,

	facilitando una planificación más eficiente de las inversiones y promoviendo una gestión más transparente y orientada al servicio que perciben los usuarios.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 49	**TIPO de lectura: Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Buried No Longer Confronting America's Water Infrastructure Challenge EEUU - AWWA
Palabras claves:	• Infraestructura • Renovación • Costos • Vida útil.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1."Citas textuales"** 25. **Redac**	1.- Si bien el documento de la AWWA se centra principalmente en las redes de agua potable, sus planteamientos pueden considerarse una referencia válida para el análisis de las redes de alcantarillado, especialmente si se tiene en cuenta que ambas infraestructuras suelen presentar antigüedades y condiciones de operación similares. En este sentido, el informe señala que Estados Unidos enfrenta en las próximas décadas el desafío de realizar una reinversión significativa en su infraestructura de tuberías.

ciones propias	2.- Gran parte de estas redes fue construida y financiada por generaciones anteriores, lo que ha permitido su funcionamiento durante largos períodos. Sin embargo, a pesar de su extensa vida útil, estas infraestructuras no son permanentes ni inmunes al deterioro. Con el paso del tiempo, las tuberías experimentan procesos de envejecimiento que afectan su desempeño y confiabilidad, lo que hace necesaria una inversión considerable para su renovación o rehabilitación. De acuerdo con el informe, una proporción importante de estas redes fue instalada hace aproximadamente 50 años o más, lo que refuerza la urgencia de planificar y ejecutar programas de inversión que aseguren la continuidad y calidad de los servicios sanitarios en el largo plazo.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Entregar antecedentes que permitan orientar la planificación de inversiones en redes de alcantarillado, destacando la importancia de anticipar los procesos de envejecimiento de la infraestructura y de evitar la postergación de intervenciones necesarias. **Avalar:** Proporcionar evidencia internacional que respalde la necesidad de fortalecer las estrategias de gestión de activos en redes sanitarias, especialmente en lo relativo a la renovación y rehabilitación de colectores envejecidos. **Complementar:** Aportar elementos de comparación que complementen el análisis de la red de alcantarillado, utilizando experiencias y proyecciones de inversión en infraestructura de agua potable para comprender mejor los desafíos financieros y operativos asociados a la reposición de tuberías. **Definir:** Contribuir a definir criterios y prioridades para la gestión de la infraestructura sanitaria, considerando el impacto que tiene el envejecimiento de las redes en la sostenibilidad del sistema y en la planificación de inversiones de largo plazo. **Contrapropuesta:** Plantear la necesidad de adoptar enfoques más proactivos de gestión de activos, que incorporen herramientas de análisis, modelos de deterioro y sistemas de información que permitan priorizar intervenciones antes de que el deterioro de la infraestructura genere fallas críticas o costos mayores. **Otros aportes:** Fortalecer la comprensión del problema del envejecimiento de las redes como un desafío estructural de largo plazo, promoviendo una visión estratégica de la inversión en infraestructura sanitaria que permita equilibrar sostenibilidad financiera, continuidad del servicio y bienestar de los usuarios.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 50	**TIPO de lectura: Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Libro Blanco de las Tecnologías Sin Zanja - Asociación Ibérica de Tecnología Sin Zanja - 2018
Palabras claves:	• Tecnologías sin zanja • Ciudades Inteligentes • Mantenimiento y Limpieza • Rehabilitación de Tuberías
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 26. **Redacciones propias**	La tecnología sin zanja corresponde a un conjunto de métodos y técnicas que permiten intervenir tuberías subterráneas ya sea para su instalación, reemplazo, renovación, rehabilitación, inspección o detección de fallas sin necesidad de realizar excavaciones abiertas a lo largo de toda la conducción. A diferencia de los métodos tradicionales, que requieren abrir zanjas extensas para acceder a las tuberías, estas tecnologías permiten trabajar desde puntos de acceso específicos, lo que reduce significativamente la intervención sobre la superficie y el entorno urbano. Una de las principales ventajas de estas tecnologías es su menor impacto ambiental y urbano**.** Al reducir la excavación del terreno, se disminuyen las alteraciones del suelo, la generación de residuos y las emisiones asociadas a la maquinaria pesada. Además, se evita en gran medida la interrupción del tránsito, la afectación a peatones y las molestias a los residentes cercanos a las obras. Por estas razones, las tecnologías sin zanja son consideradas alternativas más sostenibles y ecológicamente responsables, ya que contribuyen a un uso más eficiente de los recursos y a una menor perturbación del entorno.

	Desde el punto de vista económico y operativo, estas técnicas también presentan ventajas importantes. En muchos casos permiten reducir los tiempos de ejecución de las obras y los costos indirectos, especialmente aquellos asociados a la reposición de pavimentos, desvíos de tránsito y restauración del entorno urbano. Asimismo, facilitan la aplicación de métodos modernos de rehabilitación de tuberías existentes, lo que permite extender su vida útil sin necesidad de reemplazarlas completamente, mejorando así el rendimiento y la eficiencia de la infraestructura sanitaria. Finalmente, las tecnologías sin zanja también desempeñan un rol relevante en las labores de inspección, mantenimiento y limpieza de redes, particularmente en sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado. Mediante herramientas como la inspección con cámaras CCTV es posible evaluar el estado interno de las tuberías, identificar fisuras, infiltraciones, obstrucciones u otros defectos, y planificar intervenciones de manera más oportuna. Esto contribuye a mejorar la gestión de los sistemas, favoreciendo estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo que permiten anticipar fallas y optimizar el uso de los recursos disponibles.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Permite orientar la toma de decisiones respecto a las alternativas tecnológicas disponibles para la rehabilitación o renovación de colectores, considerando soluciones que reduzcan el impacto urbano, ambiental y operativo en comparación con los métodos tradicionales de excavación abierta. **Avalar:** Entrega antecedentes técnicos que respaldan la utilización de tecnologías sin zanja como una alternativa eficiente para intervenir redes subterráneas, especialmente en contextos urbanos donde las excavaciones extensas generan mayores costos, impactos y dificultades operacionales. **Complementar:** Aporta elementos que complementan las estrategias tradicionales de mantenimiento y rehabilitación de redes, integrando tecnologías que permiten intervenir la infraestructura existente de manera menos invasiva y con menores tiempos de ejecución. **Definir:** Contribuye a definir criterios técnicos y operacionales para la selección de métodos de intervención en tuberías subterráneas, considerando factores como el estado de la red, el impacto urbano de las obras, la eficiencia en el uso de recursos y la prolongación de la vida útil de la infraestructura. **Contrapropuesta:** Permite plantear alternativas a los métodos convencionales de reparación o reemplazo de tuberías mediante excavaciones abiertas, promoviendo el uso de tecnologías que priorizan la rehabilitación de la infraestructura existente con menor impacto en el entorno urbano. **Otros aportes:** Favorece una visión más moderna de la gestión de redes sanitarias, donde el uso de herramientas tecnológicas,

	inspecciones mediante CCTV y técnicas de rehabilitación sin zanja permiten mejorar el conocimiento del estado de las tuberías, optimizar la planificación de intervenciones y avanzar hacia modelos de mantenimiento más preventivos y eficientes.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 51	**TIPO de lectura: Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Rubio Romero, P.; Castro Moreno, H.; Madrid Aris, M. Gobernanza y Economía del Agua A y B. Material académico Magíster en Gestión del Agua, Universidad Técnica Federico Santa María.
Palabras claves:	• Gobernanza del agua • Gestión hídrica • Institucionalidad • Stakeholders • Políticas públicas • Gestión integrada • Recursos hídricos Chile.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 27. **Redacciones propias**	1.- “La gobernanza del agua se refiere a las estructuras políticas, económicas, sociales y jurídicas que se establecen para gestionar el agua.” 1.- “La gobernanza es una forma de interacción entre el Estado, la sociedad civil y el mercado para la gestión del recurso.”

	1.- “La gobernanza es una herramienta de gestión política para la planificación, dirección y gestión de los recursos de dominio público.” 1.- “El agua es de interés general y forma parte del dominio público del Estado.” 2.- El documento presenta un enfoque integral sobre la gobernanza del agua, entendida como un sistema de interacción entre actores públicos, privados y sociales para la gestión eficiente del recurso hídrico. Se destacan los desafíos actuales en Chile, tales como desigualdad en el acceso, contaminación, cambio climático y debilidades institucionales. Además, se abordan los principios de gobernanza propuestos por la OCDE, centrados en eficiencia, efectividad, confianza y participación. El documento también introduce el concepto de gobernanza multinivel, identificando brechas como problemas de financiamiento, coordinación institucional, capacidades técnicas e información. Se destaca el rol clave de los stakeholders en la gestión del agua, señalando que la participación, transparencia y comunicación son elementos fundamentales para una gobernanza efectiva. Asimismo, se presentan distintos modelos de gobernanza (liderada, autogobierno y co-gobernanza), junto con herramientas para la planificación estratégica y la toma de decisiones.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Entrega un marco conceptual completo sobre gobernanza del agua en Chile. **Avalar** Respalda la necesidad de integrar actores en la gestión de recursos hídricos. **Complementar** Aporta enfoque institucional y social a la gestión del agua. **Definir** Define conceptos clave como gobernanza, dominio público y participación. **Contrapropuesta** Plantea la necesidad de superar brechas institucionales y de coordinación.

	Otros aportes Introduce herramientas de planificación estratégica y gestión de stakeholders.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 52	**TIPO de lectura: Fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kresse Zamorano, A. (2024). Planificación en la industria sanitaria. Magíster en Gestión del Agua, Universidad Técnica Federico Santa María.
Palabras claves:	• Planificación estratégica • Industria sanitaria • Gestión de activos • CAPEX • OPEX • Regulación sanitaria

	• Continuidad del servicio
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 28. **Redacciones propias**	1.- “Tan importante como las soluciones técnicas es el marco regulatorio y económico en que se prestan los servicios sanitarios.” 1.- “Las soluciones técnicas son normalmente múltiples y se deben integrar con análisis de riesgo y económicos para obtener la solución más eficiente.” 1.- “Conjunto de prácticas y actividades… mediante las cuales una organización administra y opera sus activos de una forma eficiente y sustentable.” 1.- “Los programas de inversiones se construyen con el objetivo de asegurar la calidad y continuidad de las distintas etapas de servicio.” 2.- El documento presenta un análisis integral de la planificación en la industria sanitaria chilena, destacando la importancia de integrar variables técnicas, económicas, regulatorias y operacionales en la toma de decisiones. Se describe la evolución del sector sanitario en Chile, pasando desde un modelo estatal centralizado hacia un sistema regulado con participación privada, donde la SISS cumple un rol clave en la supervisión de estándares de calidad y continuidad. Asimismo, se desarrolla el concepto de planificación estratégica y operacional, diferenciando entre CAPEX (inversiones en infraestructura) y OPEX (mantenimiento y operación), destacando la necesidad de programas de inversión basados en proyecciones de demanda, evaluación de riesgos y análisis costo–beneficio. El documento también enfatiza el rol de la gestión de activos como herramienta central para optimizar el rendimiento, minimizar riesgos y maximizar la vida útil de la infraestructura sanitaria, integrando criterios de sostenibilidad, eficiencia y continuidad del servicio.

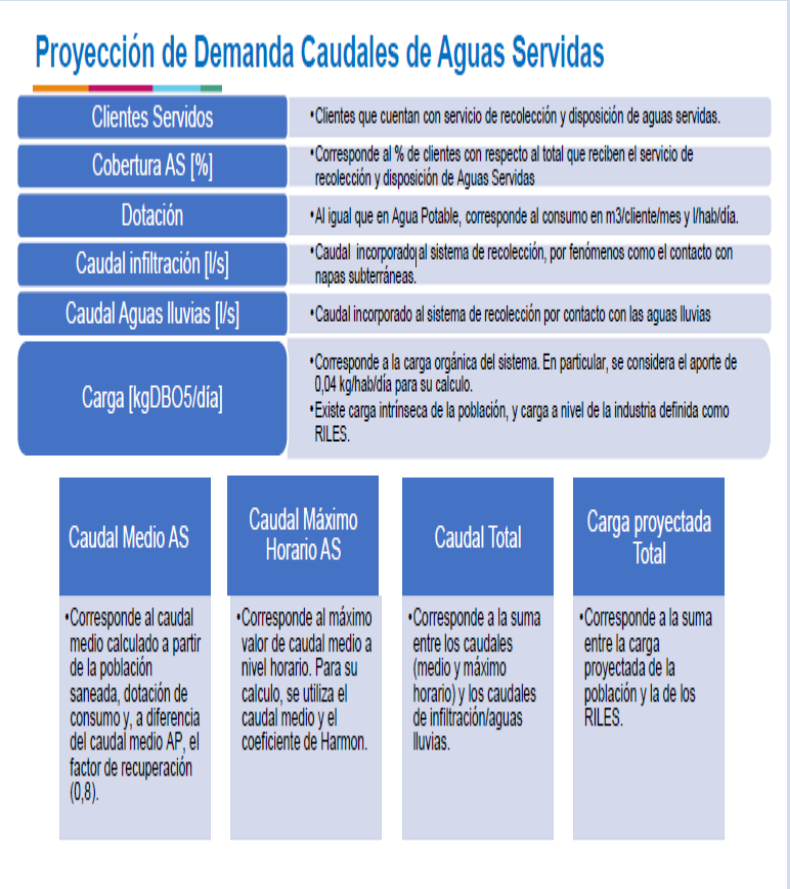
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar:** Aporta un marco conceptual para analizar la gobernanza y cooperación en la gestión del agua. **Avalar:** Respalda el uso del enfoque de sistemas socio-ecológicos en estudios de gestión de recursos hídricos. **Complementar:** Integra variables institucionales, económicas y sociales en el análisis de la gestión del agua. **Definir:** Explica el rol de la acción colectiva en la protección de recursos hídricos. **Contrapropuesta:** Propone combinar diferentes enfoques teóricos (SES y economía institucional) para estudiar la gobernanza del agua. **Otros aportes:** Identifica factores que influyen en la cooperación entre actores para la protección de cuencas.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

Distribución -Recolección	Aguas del Altiplano	Nueva Atacama	Aguas Araucanía	Aguas Magallanes
Redes Ap(km)	1.091	878	2.198	679
Conducciones Ap(KM)	525	754	314	162
Arranques	115.822	86.417	224.764	54.265
Valvulas de corte	4.634	2.635	6.954	3.442
Grifos	2.216	1.816	4.718	1.276
Planta elevadora Ap	21	32	91	20
Redes AS(KM)	874	749	1.964	527
Conducciones AS(KM)	119	26	260	51
Uniones Domiciliarias	111.246	81.828	211.655	52.181
Plantas Elevadoras As	26	15	139	32

Nota: incluye plantas elevadoras de producción, distribución, recolección y disposición

LECTURA 53	TIPO de lectura: Fundamental
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Viera Villegas, O. (2024). Gestión de Activos en la Industria Sanitaria. Magíster en Gestión del Agua, Universidad Técnica Federico Santa María.
Palabras claves:	• Gestión de activos • Planificación sanitaria • CAPEX • OPEX • Renovación de redes • Mantenimiento • Continuidad del servicio • Planificación de inversiones • Cambio climático.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 29. **Redacciones propias**	1.- “Los sistemas de agua en el mundo no están equipados para formular planes de mantenimiento sólidos.” 1.- “Plan de Desarrollo: programa de inversiones proyectado a 15 años para asegurar calidad y continuidad del servicio.” 1.- “La tasa de renovación de redes no debe guiarse por vida útil, sino por indicadores de desempeño.” 2.- El documento aborda la gestión de activos en la industria sanitaria desde una perspectiva integral, considerando todo el ciclo de vida de la infraestructura, incluyendo planificación, operación, mantenimiento, renovación y reemplazo. Se destaca que la gestión eficiente de activos permite asegurar la continuidad y calidad del servicio sanitario, en cumplimiento de la normativa vigente, integrando aspectos técnicos, económicos y regulatorios. El texto profundiza en la planificación de inversiones mediante el Plan de Desarrollo (PD), el cual proyecta las necesidades de infraestructura a 15 años, basado en análisis de balance oferta-demanda (BOD), permitiendo anticipar déficits y priorizar inversiones. Asimismo, se presentan metodologías de proyección de demanda basadas en modelos econométricos (ARIMA, ETS, Prophet), integrando variables como consumo histórico, factores económicos y condiciones climáticas. El documento también enfatiza la importancia del mantenimiento (OPEX) y la reposición (CAPEX), destacando

	que la renovación de redes debe basarse en desempeño, criticidad y riesgo, más que en la vida útil teórica. Finalmente, se incorpora el impacto del cambio climático como un factor clave en la planificación, evidenciando desafíos como sequía, inundaciones y variabilidad de fuentes, lo que obliga a adoptar enfoques de planificación adaptativa. El documento también enfatiza el rol de la gestión de activos como herramienta central para optimizar el rendimiento, minimizar riesgos y maximizar la vida útil de la infraestructura sanitaria, integrando criterios de sostenibilidad, eficiencia y continuidad del servicio.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Define claramente cómo se gestiona la infraestructura sanitaria. **Avalar** Respalda el uso de gestión de activos en redes de alcantarillado. **Complementar** Integra planificación, operación, mantenimiento y renovación. **Definir** Conceptos clave: ciclo de vida del activo, CAPEX, OPEX, PD, BOD. **Contrapropuesta** Cuestiona el uso exclusivo de la vida útil como criterio de renovación. **Otros aportes** Introduce modelos predictivos y planificación adaptativa frente al cambio climático.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 54	**TIPO de lectura: fundamental**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Peña Carter, P. (2024). Decisiones Estratégicas, Tácticas y Operacionales + Estrategia de Operaciones en un Entorno Global. Material académico de gestión de operaciones.
Palabras claves:	• Decisiones estratégicas • Decisiones tácticas • Decisiones operacionales • Estrategia de operaciones • Planificación • Gestión de recursos • Eficiencia operativa • Toma de decisiones
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 30. **Redacciones propias**	1.- “Una decisión en operaciones representa una elección significativa que impacta directamente el funcionamiento y la competitividad de una organización.” 1.- “Las decisiones estratégicas definen el rumbo a largo plazo de la organización.”

	1.- “Las decisiones tácticas representan el puente entre la visión estratégica y la ejecución diaria.” 1.- “Las decisiones operacionales se caracterizan por ser frecuentes, rutinarias y enfocadas en la ejecución diaria.” 2.- El documento analiza la toma de decisiones dentro de la gestión de operaciones, clasificándolas en tres niveles fundamentales: estratégico, táctico y operacional, cada uno con distintos horizontes temporales, alcances y niveles de impacto. Las decisiones estratégicas se enfocan en el largo plazo y definen el rumbo organizacional, involucrando grandes inversiones y determinando el posicionamiento competitivo. En contraste, las decisiones tácticas traducen estas estrategias en planes concretos a mediano plazo, optimizando el uso de recursos y permitiendo ajustes según el entorno. Por su parte, las decisiones operacionales se centran en la ejecución diaria, asegurando la continuidad de los procesos mediante actividades rutinarias como mantenimiento, control y gestión de operaciones. El documento también destaca la importancia de una estrategia de operaciones bien definida, la cual permite alinear los recursos con los objetivos organizacionales, mejorar la eficiencia, reducir costos y generar ventajas competitivas sostenibles. Finalmente, se identifican elementos clave de la estrategia de operaciones, tales como la gestión de la capacidad, localización de instalaciones, automatización, calidad y mejora continua, los cuales son fundamentales para lograr un desempeño eficiente en entornos complejos y dinámicos.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Permite estructurar la toma de decisiones dentro del modelo de gestión. **Avalar** Respalda la necesidad de separar niveles de decisión en la gestión de activos. **Complementar** Integra la planificación estratégica con la operación diaria del sistema.

	Definir Clarifica conceptos clave: estratégico, táctico y operacional. **Contrapropuesta** Evidencia que una gestión centrada solo en operación (reactiva) es insuficiente. **Otros aportes** Entrega base conceptual para estructurar modelos jerárquicos de gestión.
Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	

LECTURA 55	**TIPO de lectura: Específica**
Referencia bibliográfica o Dirección web completa:	Kresse Zamorano, A. (2024). “Desalación en Chile: Evolución, desafíos y oportunidades”**.** MWM, Universidad Técnica Federico Santa María.
Palabras claves:	• Desalación • Escasez hídrica • Cambio climático

	• Salmuera • Impacto Ambiental • Seguridad hídrica • Reúso • Gestión del agua • Sostenibilidad • Abastecimiento.
Conceptos y/o Ideas fundamentales: **1.“Citas textuales”** 31. **Redacciones propias**	1.- “Desde 2007, la zona central de Chile se encuentra en una sequía prolongada, sin precedentes.” 1.- “El agua de hoy es la misma de la época de los dinosaurios.” 1.- “El agua de mar se separa en agua dulce y salmuera, concentrándose las sales en esta última.” 1.- “No hay afectación de la salinidad de los océanos por esta operación.” 1.- “El real costo del agua es el costo de no tener agua.” 2.- El documento presenta un análisis integral de la desalación en Chile, abordando su evolución, fundamentos, desafíos y oportunidades en el contexto de la creciente escasez hídrica asociada al cambio climático. Se plantea que la desalación surge como una alternativa estratégica frente a la disminución de fuentes convencionales, destacando que la escasez hídrica es un fenómeno tanto físico como de gestión, asociado a la limitada disponibilidad, uso ineficiente y creciente demanda del recurso. El estudio evidencia que Chile enfrenta una sequía estructural desde hace más de una década, lo que obliga a replantear el modelo tradicional de abastecimiento, incorporando nuevas fuentes como el agua de mar desalada y el reúso. En términos técnicos, se describe el proceso de desalación mediante ósmosis inversa, donde el agua de mar se separa en agua dulce y salmuera, destacando que los principales impactos ambientales (como la descarga de salmuera) son acotados, monitoreados y gestionables mediante modelos y planes de vigilancia ambiental. Asimismo, se identifican diversas inquietudes asociadas a la desalación, tales como el consumo energético, los efectos

	en el ecosistema marino y la percepción social, muchas de las cuales se basan en mitos o falta de información. Finalmente, el documento plantea que la desalación representa una oportunidad para garantizar la seguridad hídrica, permitiendo abastecer ciudades y sectores productivos independientemente de la variabilidad climática, siempre que se implemente bajo criterios de sostenibilidad, regulación adecuada y aceptación social.
Aporte específico que se cree obtener sirve para: **Orientar** **Avalar** **Complementar** **Definir** **Contrapropuesta** **Otros aportes**	**Orientar** Entrega contexto macro sobre crisis hídrica y necesidad de nuevas fuentes. **Avalar** Justifica técnicamente la incorporación de nuevas soluciones en sistemas sanitarios. **Complementar** Integra visión de sostenibilidad, regulación y percepción social. **Definir** Clarifica conceptos como desalación, salmuera e impactos ambientales. **Contrapropuesta** Cuestiona el modelo tradicional basado solo en fuentes continentales. **Otros aportes** Introduce el concepto de seguridad hídrica como eje de planificación.

Materiales más significantes: **Tablas** **Gráficos** **Ejemplos** **Fotografías** **Mapas** **Otros**	